



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OPTIMALIZACE OBRÁBĚCÍHO PROCESU ZVOLENÉ
ROTAČNÍ SOUČÁSTI**

ON THE OPTIMIZATION OF MACHINING PROCESS OF THE ROTARY PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Benda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Martin Benda**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Optimalizace obráběcího procesu zvolené rotační součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá aplikací moderní obráběcí technologie pro výrobu zadané součásti s různými kritérii optimalizací.

Cíle diplomové práce:

- Teoretický rozbor problematiky.
- Popis stávajícího stavu, návrhy zlepšení výrobní technologie.
- Optimalizace řezných podmínek.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Technologie I – Technologie obrábění – 1. část. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003 [online]. [cit. 2018-16-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/TI_TO-1cast.pdf.

MÁDL, J. a I. KVASNIČKA. Optimalizace obráběcího procesu. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01864-6.

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

BARÁNEK, I. Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. TU Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 1. vyd., Slovensko, Trenčin, s. 112. ISBN 80-8075-013-0.

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Učební text pro FSI, CERM, Brno, 2009. s. 248. ISBN 978-80-214-4025-8.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 2nd ed., 2005. pp. 651, ISBN 0-1-514206-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou výroby součásti vedení ventilu. Nejprve je zhodnocen stávající stav výroby včetně stanovení výrobních časů a nákladů. V další části jsou provedeny návrhy na zlepšení výroby a následně optimalizace řezných podmínek z hlediska minimálních nákladů pro určené operační úseky. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky a celkový přínos této práce.

Klíčová slova

Optimalizace řezných podmínek, obrábění, výrobní náklady, životnost nástroje

ABSTRACT

This thesis deals with analysing component manufacture of valve lines. Firstly evaluating current condition of production including determined manufacture times and costs. Secondly carrying out improvement proposals for manufacture and optimisation of cutting conditions while considering the minimal costs given for operation sections. The final provision summarizes results which were achieved and overall benefits of the thesis.

Key words

Optimisation of cutting condition, machining, manufacturing costs, tool life

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENDA, Martin. *Optimalizace obráběcího procesu zvolené rotační součásti* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117107>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Optimalizace obráběcího procesu zvolené rotační součásti** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Bc. Martin Benda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti EXCALIBUR ARMY spol. s r.o., kde jsem mohl tuto práci vytvořit. Dík také patří mé rodině, která mi vytvořila ideální pracovní prostředí nejen při tvorbě této práce, ale i během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD	9
1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY	10
1.1 Kritéria optimálnosti	10
1.1.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů	10
1.1.2 Kritérium optimálnosti z hlediska produktivity	15
1.1.3 Kritérium optimálnosti z hlediska úběru materiálu	16
1.1.4 Vícekriteriální optimalizace.....	16
1.2 Omezující podmínky	16
1.2.1 Omezení dané výkonem obráběcího stroje	16
1.2.2 Omezení dané maximálně přípustným krouticím momentem	17
1.2.3 Omezení dané maximálně přípustným ohybovým momentem	17
1.2.4 Omezení dané maximálně přípustnými silami	18
1.2.5 Omezení dané vhodným utvářením třísek.....	18
1.2.6 Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy	19
1.2.7 Omezení maximálními a minimálními otáčkami z hlediska stroje....	20
1.2.8 Omezení dané maximálním a minimálním posuvem stroje	20
1.2.9 Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem	20
1.3 Oblast přípustných řešení a její definice	20
1.4 Opotřebení řezných nástrojů	21
2 ROZBOR ZVOLENÉ ROTAČNÍ SOUČÁSTI	28
2.1 Popis a funkčnost součásti	28
2.2 Konstrukční rozbor	28
2.3 Materiál součásti	30
3 STÁVAJÍCÍ STAV VÝROBY SOUČÁSTI.....	31
3.1 Výpočet normy spotřeby materiálu	31
3.1.1 Ztráta mat. vzniklá dělením materiálu připadající na jednici „ q_u “	32
3.1.2 Ztráta mat. z nevyužitého konce tyče připadající na jeden kus „ q_k “	33
3.1.3 Ztráta mat. vzniklá obráběním přídatku přip. na jeden kus „ q_o “	33
3.1.4 Celkové ztráty materiálu připadající na jeden kus	34
3.1.5 Norma spotřeby materiálu	34
3.1.6 Stupeň využití materiálu	34

3.2 Výrobní strojní zařízení	35
3.3 Použité nástroje a měřidla	37
3.4 Stávající technologický postup výroby	42
3.5 Výpočet výrobních časů stávajícího stavu výroby	43
3.5.1 Určení strojních časů	43
3.5.2 Určení vedlejších časů	45
3.5.3 Sumarizace strojních a vedlejších časů	46
3.5.4 Koeficient přírážky směnového času	47
3.6 Technicko-ekonomické zhodnocení stávajícího stavu	47
3.6.1 Náklady na použité nástroje a měřidla	47
3.6.2 Náklady na materiál	49
3.6.3 Celkové náklady na jeden kus	50
4 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	52
4.1 Volba polotovaru	52
4.1.1 Hodnocení nově zvoleného polotovaru	52
4.1.2 Náklady na materiál při použití nově zvoleného polotovaru	53
4.2 Výrobní strojní zařízení	53
4.3 Nástroje a měřidla použita v nově navrženém technol. postupu	53
4.4 Návrh nového technologického postupu	55
4.5 Výpočet výrobních časů nově navržené výroby	56
4.5.1 Určení strojních časů	56
4.5.2 Určení vedlejších časů	58
4.5.3 Sumarizace strojních a vedlejších časů	59
4.6 Technicko-ekonomické zhodnocení	59
4.6.1 Náklady na použité nástroje a měřidla	59
4.6.2 Náklady na materiál	60
4.6.3 Celkové náklady na jeden kus	60
5 OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK	62
5.1 Shrnutí pracovních podmínek nově navržené operace 20	62
5.2 Stanovení $T - v_c$ závislostí	63
5.3 Optimalizace operace 20 z hlediska minimálních nákladů	66
5.4 Ověření a kontrola omezujících podmínek	70
5.5 Shrnutí pracovních podmínek optimalizované operace 20 po ověření a kontrole omezujících podmínek	76
5.6 Výrobní náklady pro optimalizované podmínky	77
6 CELKOVÉ TECHNICKO EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ	79
7 DISKUSE	82
ZÁVĚR	84

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	88
SEZNAM PŘÍLOH	92

ÚVOD

V celém světě je na podniky kladen tlak, aby výrobky byly vytvářeny s co nejmenšími výrobními náklady. Náklady na výrobu součásti tvoří obvykle okolo 40 % z celkové ceny [2]. Proto je velmi důležité věnovat pozornost tomu, aby výrobní proces probíhal co nejvíce efektivně. Pokud podnik neklade patřičnou pozornost optimalizaci výrobního procesu, dochází k neefektivnosti výroby. Při dlouhodobém trvání tohoto stavu může dojít až ke ztrátě postavení podniku na trhu [3].

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zlepšení výrobní technologie zvolené rotační součásti a následnou optimalizací řezných podmínek. V první kapitole je teoreticky rozebrána problematika optimalizace obráběcího procesu a dalších témat s ní úzce spojených. Od druhé kapitoly už je popisována konkrétní součást vedení ventilu vyráběná firmou EXCALIBUR ARMY spol. s r.o. Nejprve je proveden rozbor součásti a následně je představen stávající stav výroby včetně výpočtu výrobních časů a nákladů. V další kapitole jsou provedeny návrhy na zlepšení a opět kalkulace výrobních časů a nákladů. Poté je tento nově navržený technologický postup výroby optimalizován z hlediska minimálních nákladů. V závěru práce jsou jednotlivé technologické postupy porovnány z více hledisek a prezentován přínos této diplomové práce.

Šternberský opravárenský podnik byl založen již v roce 1951 a za tu dobu si vybudoval velkou tradici. Původně pod názvem VOP 026 Šternberk (Vojenský opravárenský podnik 026). V dnešní době již podnik spadá pod EXCALIBUR ARMY spol. s r.o. Tato firma vznikla v roce 1995 a z počátku se zabývala hlavně prodejem proviantního a zdravotního materiálu a postupně i další armádní technikou. Od roku 2000 se pomalu začala orientovat na prodej náhradních dílů kolové a pásové vojenské techniky. Dále proběhlo rozšíření do provozovny v Přelouči, kde se provedla v letech 2005-2007 rozsáhlá rekonstrukce. Později se zde přestěhovalo i vedení firmy. Jedním z velmi významných opraváren kolové i pásové obrněné techniky v ČR byl VOP 026 Šternberk, který tato firma v roce 2013 koupila. EXCALIBUR ARMY spol. s r.o. je v této době jedna z největších českých firem zabývajících se armádní technikou a vlastní mnoho výrobních areálů a skladů po celé ČR [1].

1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

Strojírenská výroba zažívá v posledních letech obrovský pokrok. To je zejména ovlivněno velkým množstvím nových technologií a také materiálů, které umožňují nový pohled na určitou problematiku. Dále se to odvíjí od ekonomiky daného státu a v době globalizace i celkového světového trhu. V neposlední řadě je dnes velmi důležitým, často limitujícím faktorem ekologie celého výrobního procesu. Nutnost dbát na ekologické zacházení s určitými látkami se velmi odráží na celkové ekonomii výroby a používání výrobků šetrnějších k životnímu prostředí se znatelně podepíše na celkových nákladech. Zde je možné dát za příklad dnešní rozšiřování obrábění bez řezných kapalin, či nahrazování původních kapalin na bázi ropy za kapaliny zdraví nezávadné [3].

Z toho vyplývá, že počet faktorů vstupujících do procesu obrábění stoupá. To se odráží i na náročnosti takové optimalizace. Přesto často v podnicích bývají parametry obráběcího procesu voleny pouze dle zkušenosti, či doporučení výrobce, nebo dokonce zkusmo. Tento přístup je sice rychlý, ale nelze očekávat výsledek blížící se optimálnímu. Optimalizace pracovních podmínek v technologické přípravě výroby bývá často jedním z nejméně řešených problematik. Z velké části je to způsobeno právě neznalostí vztahu ekonomiky a obráběcího procesu. Optimální podmínky jsou pro každý provoz, součást a stroj individuální [24].

1.1 Kritéria optimálnosti

Kritériem optimálnosti se rozumí určitý aspekt, ke kterému se při celém procesu optimalizace přihlíží. V této diplomové práci budou tímto aspektem náklady, respektive snaha o minimální náklady. Jedná se o nečastější prvek optimalizace ve strojírenské praxi. Další druh optimalizace může být například s přihlédnutím na maximální výrobnost, při které se nehledí na náklady. Použití může být například, při nutnosti dodat určité množství dílů v určitém termínu. Avšak toto řešení není většinou výhodné v dlouhodobém užívání a vede k určitým finančním ztrátám [6].

Optimalizace obráběcího procesu bývá nejčastěji provedena z těchto hledisek [4]:

- dosažení minimálních výrobních nákladů,
- dosažení nejvyšší produktivity,
- dosažení maximálního úběru materiálu,
- docílení nejnižší teploty obrábění,
- vícekritériální optimalizace.

1.1.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů

Tento způsob optimalizace a jeho matematická formulace vede ke stavu, kdy se vyrábí teoreticky za nejnižší výrobní náklady. Jedná se o nejčastější způsob optimalizace a je nasazena všude tam, kde není důležité použít jiný druh optimalizace. Například při potřebě vyrábět maximální množství kusů v určitém časovém úseku. V tomto případě by bylo zapotřebí použít optimalizaci z hlediska maximální produktivity [6].

Při zjednodušení řešení pouze na obrábění jedním nástrojem a jedné plochy, pak výrobní náklady na 1 vyrobený kus N_c lze vyjádřit dle rovnice (1.1) [3]. Tato rovnice zahrnuje pouze základní náklady, pokud by vznikly i další je potřeba s nimi počítat. Dále je přínosem stanovit si podíl jednotlivých nákladů na celkových nákladech. Tím se zjistí podstatné nákladové činitele, na které se optimalizace bude zaměřovat [4].

$$N_C = N_S + N_N + N_V \quad [K\check{c}] \quad (1.1)$$

Aby bylo možno spočítat náklady na strojní práci, je nutné zavést takzvanou hodinovou sazbu stroje N_{sn} . Minutová sazba stroje se už snadno vyjádří z hodinové sazby stroje. Sazba obsahuje veškeré náklady na chod stroje, mzdu dělníka, údržbové práce, provoz dílny a další. Pro různé stroje může být sazba odlišná. Závisí to především na pořizovacích nákladech stroje, velikosti odběru energie, kvalifikaci obsluhy atd. Náklady na strojní práci lze vyjádřit dle rovnice (1.2) [3].

$$N_S = t_{AS} \cdot \frac{N_{sn}}{60} = t_{AS} \cdot N_{sm} \quad [K\check{c}] \quad (1.2)$$

Dalším členem rovnice (1.1) jsou náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jeden obráběný kus. Určit přesnou hodnotu nákladů je relativně problematické. Je potřebné znát celkovou životnost daného nástroje při daných řezných podmínkách. Dále z této hodnoty určit počet kusů, které je možné jedním nástrojem vyrobit. Pomocí pořizovací ceny a počtu kusů, které je možno vyrobit tímto nástrojem, se dostanou náklady na tento nástroj vztažené na jeden kus.

Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jednu trvanlivost bříty N_N lze obecně vyjádřit dle rovnice (1.3). Náklady na nástroj N_T se vypočítají z rovnice (1.4). Počet kusů obrobených tímto břitem Q_T je vyjádřeno v rovnici (1.5). Rovnice jsou podle literatury [4].

$$N_N = \frac{N_T}{Q_T} \quad [K\check{c}] \quad (1.3)$$

$$N_T = \frac{N_1}{n_B} + \frac{N_2}{z} + N_3 \quad [K\check{c}] \quad (1.4)$$

$$Q_T = \frac{T}{\lambda \cdot t_{AS}} \quad [ks] \quad (1.5)$$

Posledním členem rovnice (1.1) jsou náklady na vedlejší práci N_V , které je možné vyjádřit dle rovnice (1.6) [4].

$$N_V = t_{AV} \cdot \frac{D_V}{60} \quad [K\check{c}] \quad (1.6)$$

Stanovení optimální trvanlivosti nástroje z hlediska minimálních nákladů:

Jednou z metod, jak vypočítat optimální trvanlivost nástroje z hlediska minimálních nákladů, je pomocí nákladové funkce. Jelikož je snahou, aby výrobní náklady byly, co nejnižší, je potřeba najít minimum této nákladové funkce. Celkové operační náklady lze vyjádřit jako funkci trvanlivosti. Toho lze matematicky dosáhnout derivací nákladové funkce, rovnice (1.1), podle trvanlivosti a položením rovno nule. Matematický zápis dle rovnice (1.14). Celý výpočet je proveden podle literatury [4].

Pro vyjádření řezivosti nástroje a vztahu mezi trvanlivostí a otáčkami je využito základního Taylorova vztahu, viz rovnice (1.7).

$$T \cdot v_c^m = c_T \quad (1.7)$$

Taylorův vztah lze dále upravit dosazením za řeznou rychlost, viz rovnice (1.8).

$$v_c = \left(\frac{c_T}{T}\right)^{\frac{1}{m}} \rightarrow \frac{c_v}{T^{\frac{1}{m}}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \rightarrow n = \frac{1000 \cdot c_v}{T^{\frac{1}{m}} \cdot \pi \cdot D} \quad (1.8)$$

Po dosazení do rovnice (1.1) za jednotlivé druhy nákladů, které jsou dále rozepsány v rovnicích (1.2 – 1.6), se celkové náklady dají napsat podle rovnic (1.9, 1,10).

$$N_C = \frac{L}{n \cdot f} \cdot N_{sm} + \frac{L}{T \cdot n \cdot f} \cdot N_T \cdot \lambda + N_V \quad (1.9)$$

$$N_C = \frac{T^{\frac{1}{m}} \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot N_{sm}}{1000 \cdot c_v \cdot f} + \frac{T^{\frac{1}{m}} \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot N_T \cdot \lambda}{T \cdot 1000 \cdot c_v \cdot f} + N_V \quad (1.10)$$

Dále je výhodné zavést do rovnice substituce k_1 a k_2 , které usnadňují výpočet. Tyto substituce jsou napsány v rovnicích (1.11, 1.12).

$$k_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot N_{sm}}{1000 \cdot c_v \cdot f} \quad (1.11)$$

$$k_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot N_T \cdot \lambda}{1000 \cdot c_v \cdot f} \quad (1.12)$$

Po dosazení k_1 a k_2 do rovnice (1.10) lze celkové náklady rozepsat ve tvaru (1.13).

$$N_C = T^{\frac{1}{m}} \cdot k_1 + T^{\frac{1}{m-1}} \cdot k_2 + N_V \quad (1.13)$$

Když je takto rovnice upravena, je možné provést vyšetření extrému nákladové funkce a nalézt minimum. Matematický zápis tohoto vyšetření minima nákladové funkce viz rovnice (1.14).

$$\frac{dN_C}{dT} = 0 \quad (1.14)$$

V rovnici (1.15) je formulována podmínka, která bývá ve většině případů reálného obrábění splněna. Z toho vyplývá, že se jedná o minimum funkce.

$$\frac{d^2 N_C}{dT^2} \geq 0 \quad (1.15)$$

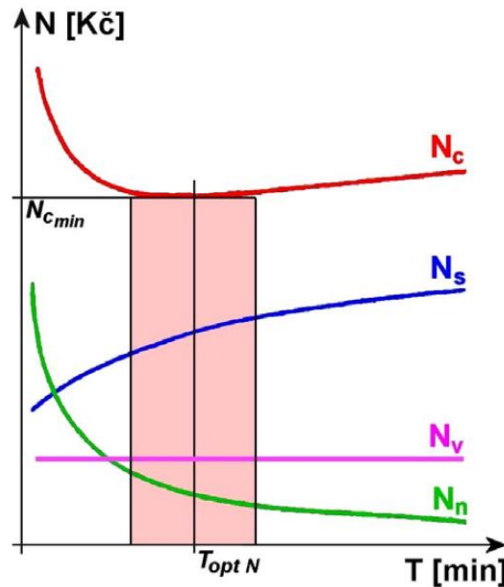
Po derivaci podle trvanlivosti se dostane rovnice nákladů ve tvaru (1.16).

$$k_1 \cdot \frac{1}{m} \cdot T^{\frac{1}{m-1}} + k_2 \cdot \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \cdot T^{\frac{1}{m-2}} + 0 = 0 \quad (1.16)$$

Po úpravě rovnice (1.16) a dosazení substitucí k_1 a k_2 lze rovnici napsat ve tvaru (1.17), kde výsledná trvanlivost je trvanlivostí optimální s ohledem na kritérium minimálních nákladů.

$$T_{opt} = (m - 1) \cdot \lambda \cdot \frac{N_T}{N_{sm}} [min] \quad (1.17)$$

V grafu na obrázku 1.1 jsou zobrazeny operační náklady v závislosti na trvanlivosti nástroje. Z toho lze graficky vyvodit optimální trvanlivost nástroje z hlediska minimálních nákladů. Jedná se o minimum funkce celkových operačních nákladů.



Obrázek 1.1 Závislost operačních nákladů na trvanlivosti nástroje [5].

Stanovení optimální řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů:

Obdobný postup je i v případě výpočtu optimální řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů. Vychází se opět z rovnice (1.1) a následně z Taylorova vztahu, viz rovnice (1.7). Úprava Taylorova vztahu je poté odlišná, viz rovnice (1.18). Celý výpočet je opět proveden podle literatury [4].

$$T \cdot n = \frac{c_T}{v_c^m} \cdot \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{c_T \cdot 1000}{\pi \cdot D} \cdot v_c^{1-m} \quad (1.18)$$

Poté se opět dosadí do rovnice (1.1) za jednotlivé dílčí náklady. A poté lze tuto rovnici napsat ve tvaru (1.19).

$$N_C = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot N_{sm}}{1000 \cdot v_c \cdot f} + \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot N_T \cdot \lambda}{c_T \cdot 1000 \cdot v_c^{1-m} \cdot f} + N_V \quad (1.19)$$

Opět se využije zavedení substitucí k_3 a k_4 , které usnadňují výpočet. Tyto substituce jsou uvedeny v rovnicích (1.20, 1.21).

$$k_3 = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot N_{sm}}{1000 \cdot f} \quad (1.20)$$

$$k_4 = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot N_T \cdot \lambda}{1000 \cdot c_T \cdot f} \quad (1.21)$$

Po dosazení k_3 a k_4 do rovnice (1.19) se celkové náklady rozepíší, viz rovnice (1.22).

$$N_C = v_c^{-1} \cdot k_3 + v_c^{m-1} \cdot k_4 + N_V \quad (1.22)$$

Rovnice (1.22) představuje obecnou rovnici pro výrobní náklady a je možné ji řešit jak graficky, tak analyticky. Optimalizace řezné rychlosti podle kritéria minimálních nákladů spočívá v nalezení této obecné rovnice pro výrobní náklady. Toto minimum se nalezne vyšetřením rovnice podle vztahu (1.23) včetně podmínky, viz rovnice (1.24). Obdobně jako v předchozím případě, ale derivace se provádí podle řezné rychlosti.

$$\frac{dN_c}{dv_c} = 0 \quad (1.23)$$

$$\frac{d^2N_c}{dv_c^2} \geq 0 \quad (1.24)$$

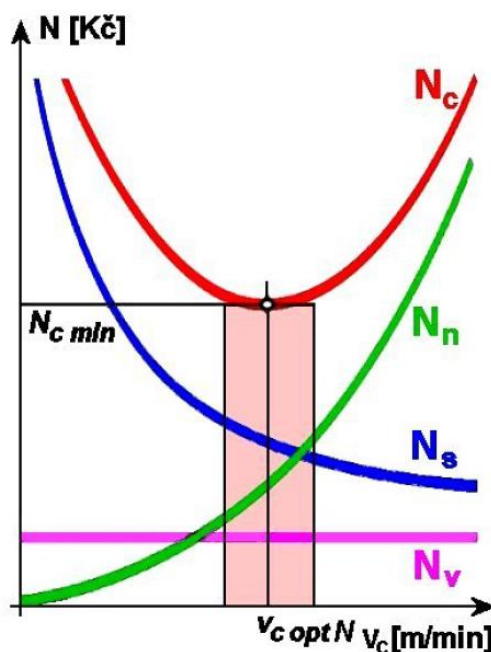
Po derivaci podle řezné rychlosti se získá rovnice nákladů ve tvaru (1.25).

$$-k_3 \cdot v_c^{-2} + k_4 \cdot (m-1) \cdot v_c^{m-2} + 0 = 0 \quad (1.25)$$

Po dosazení substitucí k_3 a k_4 a úpravě se získá konečná rovnice (1.26), která představuje optimální řeznou rychlost s ohledem na minimální výrobní náklady.

$$v_{c \text{ opt}} = \left(\frac{c_T}{\lambda} \cdot \frac{N_{sm}}{N_T \cdot (m-1)} \right)^{\frac{1}{m}} [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.26)$$

Na obrázku 1.2 je vyznačena optimální řezná rychlost s ohledem na minimální operační náklady. Možnost získání hodnoty optimální řezné rychlosti s ohledem na minimální operační náklady je možné analyticky, viz rovnice (1.26), nebo graficky. Grafické řešení spočívá ve vyjádření jednotlivých operačních nákladů v závislosti na řezné rychlosti a hledání minima celkových operačních nákladů.



Obrázek 1.2 Závislost operačních nákladů na řezné rychlosti [5].

1.1.2 Kritérium optimálnosti z hlediska produktivity

Jedná se o méně častý způsob optimalizace, který se používá v určitých situacích. Úkolem je vyrábět, co největší možné množství výrobků za určitý časový úsek. Přitom se ale nehledí na výrobní náklady, což může vést k poklesu zisku. Hlavním příkladem takové optimalizace je, když firma musí splnit dané počty kusů v určitém termínu, jinak by ztratila zákazníka apod. V tomto případě může být pro firmu z dlouhodobého hlediska výhodné vyrábět určitý počet kusů za vyšší náklady [6]. Je nutné zvážit, jestli není pro firmu výhodnější krátkodobé zavedení nadstandardní pracovní doby, například práci na 3 směny. Dále je možné odeslání výrobku do kooperace [3].

Kritérium maximální produktivity je v podstatě minimální výrobní čas na obrobek určitého úseku. Matematicky lze formulovat operační čas jednotkové práce t_A dle rovnice (1.27) [4].

$$t_A = t_{AS} + t_N + t_{AV} \text{ [min]} \quad (1.27)$$

Jednotkový strojní čas t_{AS} se získá dle rovnice (1.28). Čas na výměnu nástroje t_N se musí rozpočítat podílově na kusy, které byly obrobny během jedné trvanlivosti tohoto nástroje. Matematicky to lze formulovat dle rovnice (1.29). Vedlejší čas je také nutné rozpočítat na jeden kus. Například manipulace s materiálem nebo seřizování stroje musí být podílově rozpočítány na jednotkovou vedlejší práci [4].

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]} \quad (1.28)$$

$$t_N = \frac{t_{Ax}}{Q_T} \text{ [min]} \quad (1.29)$$

Postup získání optimální řezné rychlosti a optimální trvanlivosti nástroje z hlediska maximální produktivity je obdobný jako v předchozí podkapitole. Opět je potřeba nalézt minimum účelové funkce.

1.1.3 Kritérium optimálnosti z hlediska úběru materiálu

Kritérium maximálního úběru má určité podobnosti s kritériem maximální produktivity, proto se občas zaměňují. Dokonce při některých podmínkách může být i zcela shodné. Je třeba ale tato kritéria od sebe odlišovat [3].

Jelikož v této práci se podle tohoto kritéria optimalizace provádět nebude, tak není potřeba více teoreticky rozebírat.

1.1.4 Vícekriteriální optimalizace

V některých případech nestačí optimalizace pouze pomocí jednoho kritéria, ale je potřebné zohlednit více kritérií. Tento kompromis se řeší zejména pro kritérium nejmenších nákladů a kritérium maximální produktivity [3]. Z toho vyplývá, že následně vznikne více účelových funkcí. Mezi těmito funkcemi je poté určen parametr váhy, kterým se přidělí důležitost vybrané účelové funkce [6].

1.2 Omezující podmínky

Před začátkem samotné optimalizace je potřeba si vybrat kritérium, podle kterého se bude optimalizace provádět. Dále je nutné si zavést takzvané omezující podmínky.

Každý obráběcí proces je omezen určitými podmínkami, které jsou dány zejména obráběcím strojem. To je například výkon stroje, mezní velikost sil, mezní velikost krouticího momentu, otáčky včetně případně otáčky poháněných nástrojů, posuvy a další. Dále je to nástroj, u kterého je brán zřetel hlavně na jeho materiál a geometrii od kterých se odvíjí většina jeho vlastností. Ostatní omezení plynou například z materiálu obrobku, rezného prostředí a dalších faktorů [6].

Dále budou popsány hlavní omezující podmínky, které vstupují do obráběcího procesu.

1.2.1 Omezení dané výkonem obráběcího stroje

Jedná se o jedno z nejdůležitějších omezení a to hlavně v operačním cyklu hrubování, kdy je potřeba větších výkonů stroje. V dnešní době většinou výrobce uvádí výkonovou charakteristiku stroje. Základním parametrem je zde tedy rezný výkon P_c . Pro konstantní výkon obráběcího stroje lze tuto podmínku zjednodušeně napsat ve tvaru (1.30) [3].

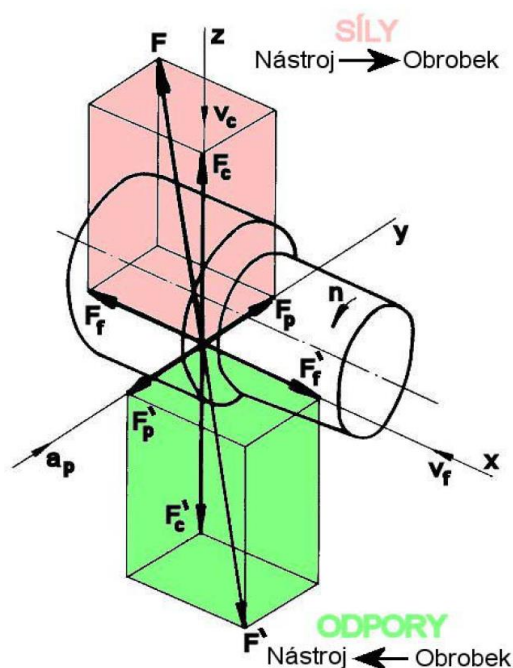
$$P_c \leq P_e \cdot \eta \quad [W] \quad (1.30)$$

Jelikož rezný výkon je funkcí rezné síly F_c , je možné ho formulovat dle rovnice (1.31) [24]. Na obrázku 1.3 jsou zobrazeny síly vznikající při podélném soustružení válcové plochy. Vzniká zde rezná síla F_c , posuvová síla F_f a pasivní síla F_p . Při součtu druhých mocnin těchto sil a následném odmocnění je vypočítána celková rezná síla F . Na obrázku 1.3 jsou zaznačeny i odporové síly, které vznikají jako reakce výše popsaných sil. Řeznou sílu F_c lze vyjádřit pomocí měrné rezné síly k_c a plochy jmenovitého průřezu třísky A_D , viz rovnice (1.32). Jmenovitý průřez třísky se spočítá jako součin posuvu f a šířky záběru ostří a_p , viz rovnice (1.33) [5].

$$60 \cdot P_c = F_c \cdot v_c \quad [W] \quad (1.31)$$

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad [N] \quad (1.32)$$

$$A_D = a_p \cdot f \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.33)$$



Obrázek 1.3 Řezné síly vznikající při podélném soustružení [5].

1.2.2 Omezení dané maximálně přípustným krouticím momentem

Stejně jako u omezení maximálním přípustným výkonem stroje, uváděný výrobcem pomocí výkonové charakteristiky, tak se uvádí charakteristika maximálního přípustného krouticího momentu při daných otáčkách hlavního vřetene stroje. Maximální krouticí moment se vlivem otáček mění, to je nutné neopomenout. Omezení maximálního přípustného krouticího momentu slouží také k prevenci proti uvolnění obrobku. To je důležité zejména u hrubovacích operací, kdy je předpoklad generování větších řezných sil. Vyvolané řezné síly nesmí způsobit takový moment, který by přesahoval maximálně přípustný krouticí moment pro danou situaci. Matematicky lze toto omezení formulovat dle rovnice (1.34) [3].

$$M_k \leq M_{kmax} \text{ [Nm]} \quad (1.34)$$

1.2.3 Omezení dané maximálně přípustným ohybovým momentem

Nejvíce se toto omezení projeví při jednostranném upnutí obrobku při soustružení. Omezující podmínka lze formulovat tak, že ohybový moment vzniklý při obrábění nesmí přesáhnout maximální přípustný ohybový moment. Tato formulace je vyjádřena dle vztahu (1.35) [3]. Tato podmínka je velice důležitá, jelikož při jejím nedodržení a překročení maximálního přípustného ohybového momentu, hrozí uvolnění obrobku z upínacího systému. Většina strojů je vybavena ochrannými částmi, které by měly zabránit ublížení na zdraví obsluhy stroje. Přesto je nemalé nebezpečí poškození vybavení stroje a jeho následného odstavení a to se pojí se ztrátou zisku.

$$M_0 \leq M_{0max} \text{ [Nm]} \quad (1.35)$$

1.2.4 Omezení dané maximálně přípustnými silami





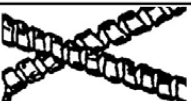


Jedná se o důležité omezení, které má velké opodstatnění zejména u obrobků, které jsou díky svému tvaru problematicky upnutelné. Je zde kladen zřetel zejména na tuhé upnutí obrobku, tuhost nástroje, dále na tuhost vedení v jednotlivých osách obráběcího stroje [3]. V této diplomové práci je řešený obrobek (tyč kruhová) upnut jedním z nejběžnějších způsobů a to do 3-čelistového sklíčidla, tudíž toto omezení bude zanedbáno.

1.2.5 Omezení dané vhodným utvářením třísek

V procesu obrábění je nutné zajistit, aby se tříska utvářela vhodným způsobem. Zejména to platí u strojů, které nemají přímý dohled. Tedy například u CNC strojů, kdy jeden dělník dokáže obsluhovat strojů více. Vhodné je použít takové řezné podmínky a geometrii nástroje pro daný obráběný materiál, aby se třísky lámaly na menší kusy. Takový tvar třísek má své výhody hlavně v prevenci proti havárii stroje a to jak v blízkosti obráběcího procesu, tak v místě odvodu třísek ze stroje [24].

Hlavní důvod je, aby se třísky neshromažďovaly v místě řezu a nedostaly se pod břit, což by mohlo vést k jeho zničení. Moderní CNC stroje mají automatický odvod třísek ze stroje, který bývá na tvar třísky poměrně citlivý. Při nevhodné délce třísky se může tato odváděcí soustava ucpat a to vede k poruše stroje. Je také nutné, aby se třísky neusazovaly ve funkčních místech stroje, jako je například výměník nástrojů apod. [24].

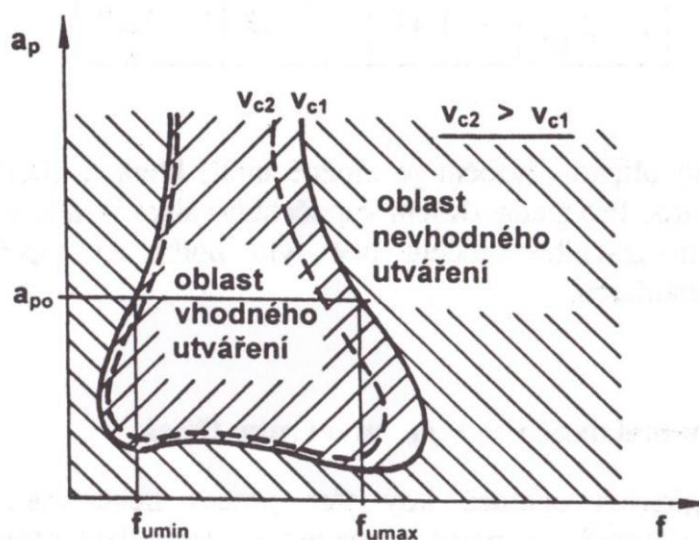
Z výše uvedeného textu vyplývá, že třísky by měly mít, co nejmenší objem. Ke kvantifikaci takového požadavku na třísku se využívá objemový součinitel třísek W . Je to podíl objemu volně ložených třísek V_t a objemu odebraného materiálu V_m , ze kterého tyto třísky vznikly. Matematicky to lze formulovat podle rovnice (1.36). Na obrázku 1.4 jsou hodnoty objemového součinitele třísek přidělené k základním tvarům třísek [5].

TVAR TŘÍSEK		W	TVAR TŘÍSEK		W
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Obrázek 1.4 Hodnoty W pro základní typy třísky [5].

$$W = \frac{V_t}{V_m} [-] \quad (1.36)$$

Výrobci nástrojů většinou udávají vhodnou oblast utváření třísky pro daný nástroj a druh materiálu. Jsou to experimentálně stanovené hodnoty uvedeny v systému f/a_p pro určitou řeznou rychlost [13]. Pokud by výrobce tyto oblasti vhodného utváření třísky neuvedl, je potřeba provést zkoušky a tyto hodnoty experimentálně určit. Na obrázku 1.5 je příklad vyobrazení oblasti vhodného utváření třísky v systému f/a_p pro určitou řeznou rychlost typ VBD a obráběný materiál. Oblast vhodného utváření třísky je důležitá zejména u soustružení, kde břit setrvává většinou v záběru, pokud se nejedná o přerušovaný řez. Proto je nebezpečí vzniku nevhodných třísek. Oproti tomu u frézování bývá každý jednotlivý břit v záběru pouze v určité oblasti a tak se přirozeně tříska láme [4].



Obrázek 1.5 Závislost vlivu velikosti řezné rychlosti na velikosti oblasti vhodného utváření třísky [3].

Pokud je známa šířka záběru ostří, lze omezující podmínku definovat jako oblast mezi minimální a maximální přípustnou velikostí posuvu, tak aby se tříska vhodně utvářela. Matematicky lze tuto omezující podmínku napsat ve tvaru (1.37, 1.38) [3].

$$f \leq f_{max} \quad (1.37)$$

$$f \geq f_{min} \quad (1.38)$$

1.2.6 Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy

V dnešní době se obrábění často využívá jako dokončovací operace. Z toho důvodu mohou být kladeny vysoké požadavky na kvalitu obrobeného povrchu. Proto je nutné tuto omezující podmínku také uvažovat [24]. Z podmínky vyplývá, že střední aritmetická úchylka profilu obrobené plochy R_a musí být menší než maximálně přípustná střední aritmetická úchylka profilu obrobené plochy R_{amax} . Matematicky lze tuto podmínku napsat dle vztahu (1.39) [3].

$$R_a \leq R_{amax} \quad (1.39)$$

1.2.7 Omezení maximálními a minimálními otáčkami z hlediska stroje

Každý stroj, u kterého se vytváří řezná síla otáčením nástroje nebo obrobku, má určité otáčkové limity. A to jak maximální, tak minimální. Proto je nezbytné znát parametry stroje, na kterém bude součást vyráběna. Jen tak je možné provést optimalizaci správně, tak aby byla použitelná v reálném provozu. Tuto podmínku lze matematicky formulovat podle vztahů (1.40, 1.41) [3].

$$n \leq n_{smax} \quad (1.40)$$

$$n \geq n_{smin} \quad (1.41)$$

1.2.8 Omezení dané maximálním a minimálním posuvem stroje

Podobně jako u předchozího omezení, má každý stroj omezení posuvů v jednotlivých směrech. Tyto omezení jsou jak minimální, tak maximální. Posuvy se pak mohou uvádět v milimetrech za otáčku nebo milimetrech za minutu. Tato omezující podmínka pro posuv v milimetrech za otáčku se dá matematicky vyjádřit dle rovnic (1.42, 1.43) [3].

$$f \leq f_{smax} \quad (1.42)$$

$$f \geq f_{smin} \quad (1.43)$$

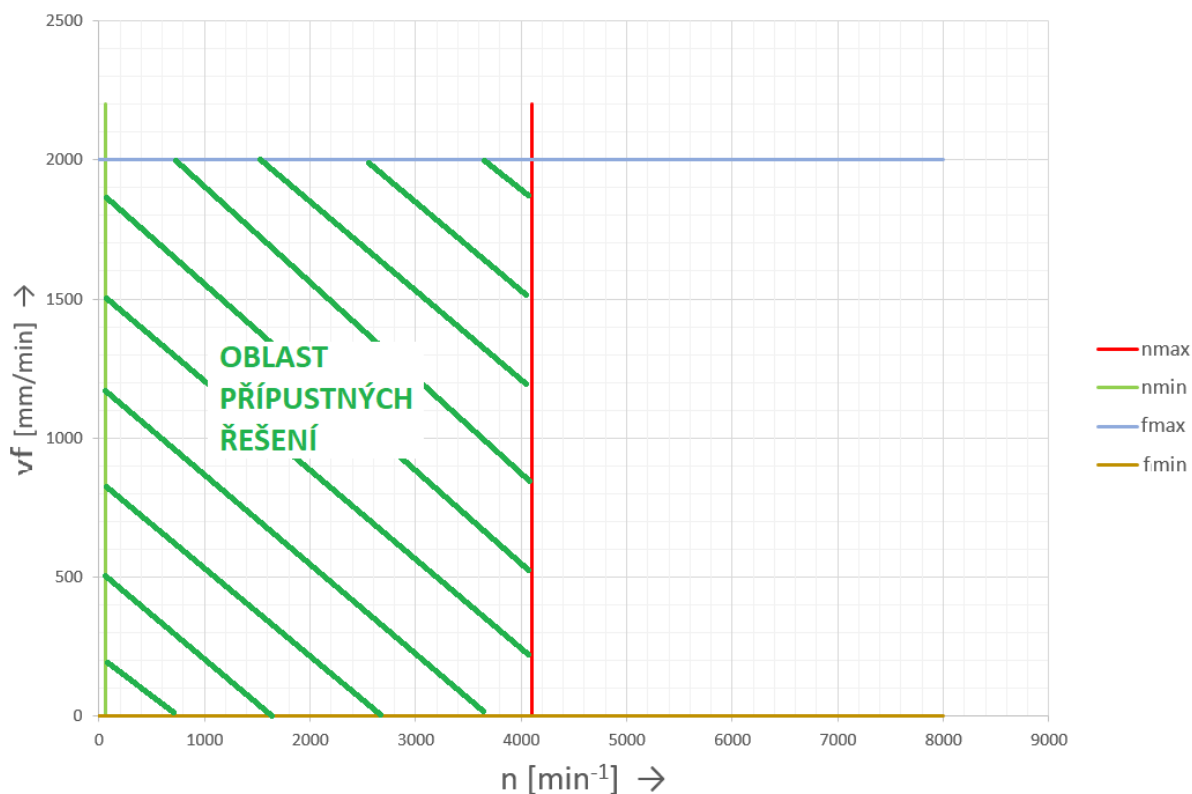
1.2.9 Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem

Jedná se o jednu z nejvýznamnějších omezujících podmínek v procesu optimalizace obráběcího procesu. V rovnici (1.7), která popisuje tuto omezující podmínku, je obsažena trvanlivost břitu nástroje. Tím je pak ovlivněn celý matematický postup řešení optimalizace řezných podmínek. Při tomto řešení se tedy vychází z Taylorova vztahu. Tento vztah vyjadřuje vazbu mezi obrobitelností materiálu, řezivostí nástroje a řezného prostředí [4].

V reálné výrobě mohou nastat i některá další omezení, s kterými se musí počítat. A to nejen technického charakteru, ale i organizačního.

1.3 Oblast přípustných řešení a její definice

Když všechna přípustná řešení jsou dána dohromady, vznikne takzvaná oblast přípustných řešení, která je pro daný případ vhodná. Na obrázku 1.6 je příklad takové oblasti přípustných řešení pro případ, kdy omezení je dáno minimálním a maximálním minutovým posuvem a minimálními a maximálními otáčkami hlavního vřetene stroje. Pokud nastane situace, kdy vypočítané optimální pracovní podmínky se nenachází v oblasti přípustných řešení je nutné tyto pracovní podmínky přepočítat tak, aby dané omezení splňovaly.



Obrázek 1.6 Příklad oblasti přípustných řešení.

1.4 Opotřebení řezných nástrojů

Nedílnou součástí optimalizace obráběcího procesu je pozorování opotřebení nástroje v závislosti na řezných podmínkách. Zejména pak na řezné rychlosti. Proto jsou v této kapitole rozebrány základní formy opotřebení nástroje.

U obrábění dochází k určitému druhu opotřebení řezného nástroje. Je to běžný následek všech druhů strojních součástí, které jsou vůči sobě v kontaktu a relativním pohybu. Přesto pracovní podmínky řezného nástroje jsou velice rozdílné od práce běžných strojních součástí a proto je na ně nutné nahlížet odlišně. Hlavní složitost určitého popisu opotřebení nástroje vyplývá zejména z toho, že závisí na mnoha činitelích. Hlavními faktory jsou pak mechanické a fyzikální vlastnosti řezného materiálu a obrobku. Dalším důležitým faktorem je způsob řezu, to znamená, jestli je plynulý, či přerušovaný [5].

Podle literatury [4] lze tyto základní opotřebení břitů dělit dle charakteru následovně:

a) Fyzikálně – mechanické:

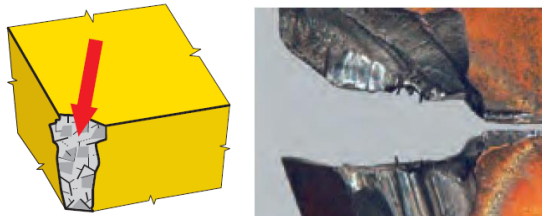
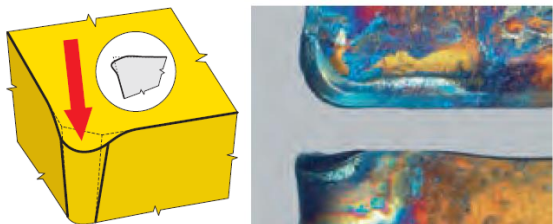
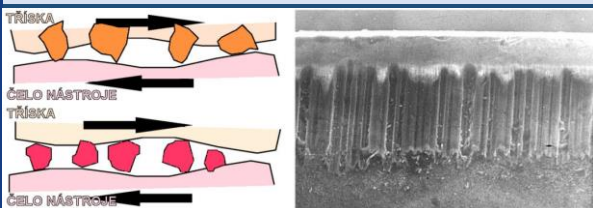

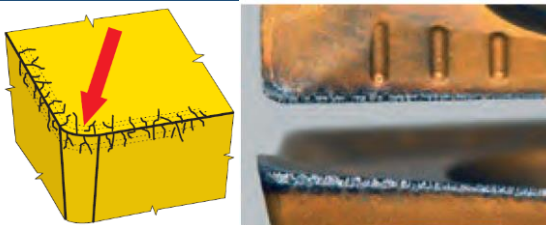
- křehký lom,
- plastická deformace,
- abrazivní otěr,
- adhezní otěr,
- teplotní trhliny,
- delaminace vrstev,
- poškození břitů nástrojů v důsledku chvění a vibrací,
- únava materiálu,
- kombinace mechanismů.

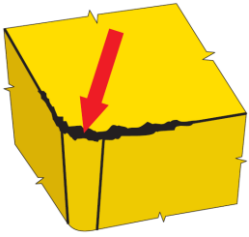
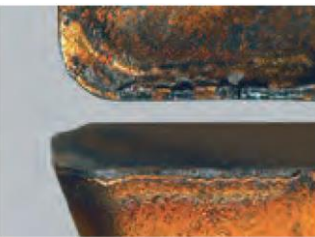
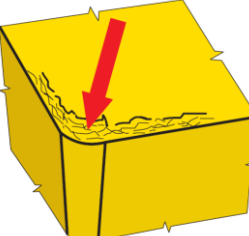

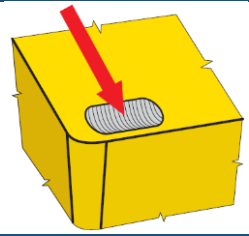
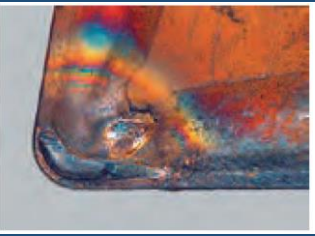
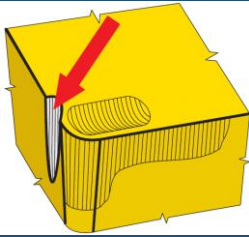

b) Chemické:

- difuzní otěr,
- tvorba chemických sloučenin,
- interkrystalické zeslabování,
- termo – elektrické opotřebení,
- kombinace mechanismů.

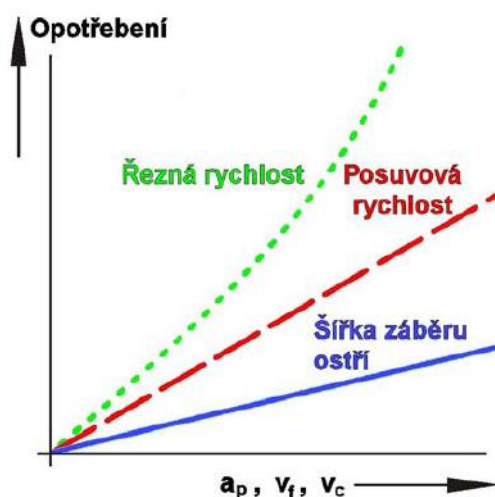
V následující tabulce 1.1 jsou popsány a zobrazeny některé základní výše rozdělené mechanismy opotřebení břitů. Většina obrázků je převzata z katalogu firmy Pramet Tools, s.r.o. [13]. Obrázky u mechanismu opotřebení abraze a adheze jsou použity z literatury [5]. Samotný popis opotřebení je dle literatury [4, 27].

Tab. 1.1 Přehled mechanismů opotřebení [4, 5,13, 27].

Fyzikálně - mechanické	
<p>Křehký lom břitů</p> 	<p>Většinou vzniká vlivem vysokého zatížení nebo krátkodobého přetížení břitů. To může být způsobeno nárazem břitů do velmi tvrdého materiálu, tvrdšího než předpokládaný obráběný materiál (vměstek, tvrdá fáze). Dále například při přerušovaném řezu.</p>
<p>Plastická deformace</p> 	<p>Při vysokém tepelném zatížení a také působení mechanického zatížení nakumulované v krátkém časovém intervalu může nastat plastická deformace. Může se projevit až tzv. lavinové opotřebení.</p>
<p>Abrazivní otěr</p> 	<p>Jedná se o brusný otěr, který je vyvolán tvrdými mikro částmi obráběného materiálu. Dále také mikro částmi materiálu rezného nástroje, které se postupně uvolňují z břitu.</p>
<p>Adhezní otěr</p> 	<p>Vzniká při vysokém tlaku a teplotě a také blízké chemické příbuznosti materiálů. Vztyčné povrchy by měly být kovově čisté. Samotný proces spočívá v porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholech nerovností čela a třísky.</p>
<p>Teplotní trhliny</p> 	<p>Důsledkem dynamického tepelného zatížení například při přerušovaném řezu můžou vzniknout hřebenové trhliny. Ty jsou kolmé na rozšiřující se část břitu na čele i hřbetě nástroje.</p>

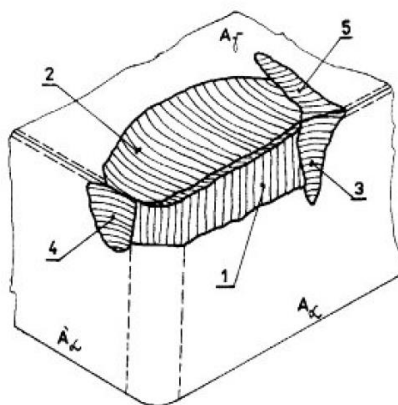
Poškození břitů nástrojů vlivem chvění a vibrací		V případě nízké tuhosti stroj – nástroj – obrobek nastává křehké porušování řezné hrany, tzv. mikrovystipování.
		
Únava materiálu		Vnik v důsledku dlouhodobého cyklického zatěžování.
		
Chemické		
Difuzní otěr		Při určitých podmínkách může nastat situace, že atomy z obráběného materiálu putují do materiálu obrobku a naopak. Tomuto jevu se říká difuze. U jednotlivých materiálů tento jev nastává při různých teplotách.
		
Tvorba chemických sloučenin-oxidační opotřebení		V případě, že v okolním prostředí řezného nástroje je přítomen kyslík, může nastat reakce a tím vzniknout určité chemické sloučeniny na povrchu nástroje. Následně to může vést ke vzniku sekundární rýhy.
		

Při reálném obrábění se jednotlivé mechanismy opotřebení vzájemně prolínají. Velmi zásadní vliv na způsob opotřebení má teplota. Na obrázku 1.7 je pak patrné, že z řezných podmínek má nejvýraznější vliv na opotřebování řezného nástroje řezná rychlost. Důležitou roli mají však i další činitele jakou jsou druh chlazení, mazání, zbytková napjatost, geometrie nástroje a další [4].



Obrázek 1.7 Jednotlivé typy opotřebení – vliv řezných podmínek [5].

Pro shrnutí jednotlivých druhů opotřebení pro nástroje, které jsou z větší části použity v této diplomové práci, slouží obrázek 1.8. Na tomto obrázku je vyobrazen břit ze slinutého karbidu, který vykazuje celou řadu typických opotřebení pro tento druh řezného nástroje. Z tohoto obrázku vyplývá, že na hřbetu takového nástroje se nejčastěji vyskytuje opotřebení vlivem abraze a oxidace. Čelo nástroje většinou bývá opotřebováno vlivem adheze, difúze, abraze a oxidace. Pro přehlednost jsou jednotlivé typy mechanismů opotřebení na obrázku 1.8 označeny čísly. Fazetka opotřebení na hřebě je označena číslem 1, výmol na čele číslem 2, primární hřebětní rýha číslem 3, sekundární (oxidační) rýha číslem 4 a číslem 5 je označena rýha na čele [4, 5].



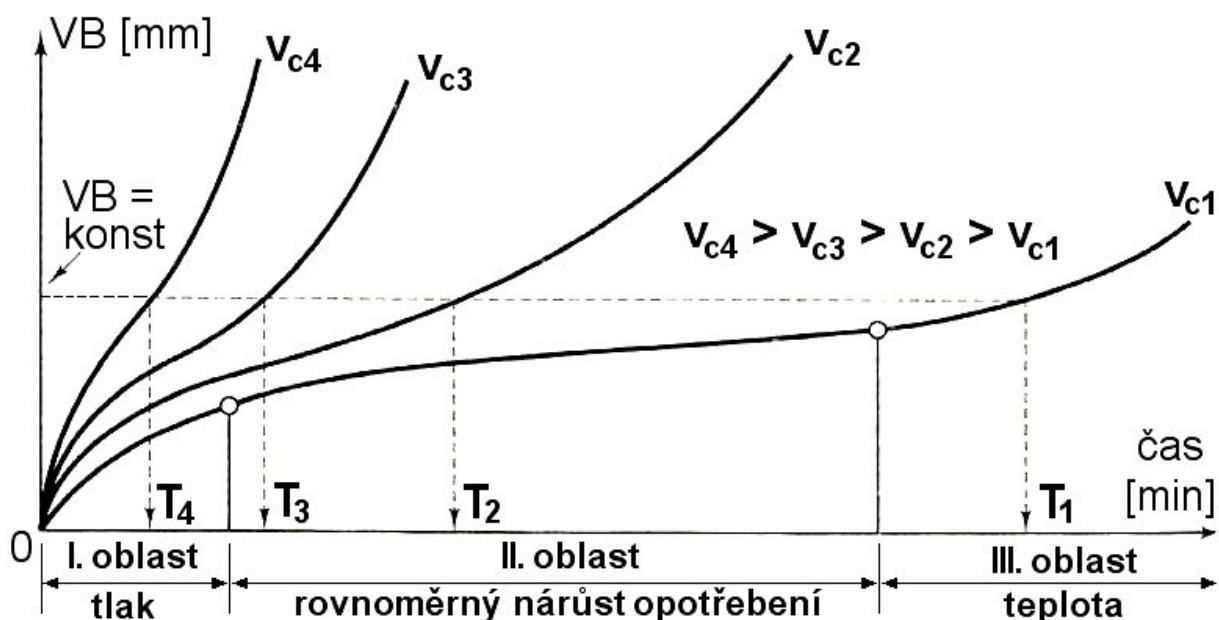
Obrázek 1.8 Opotřeбенý břit ze slinutého karbidu [5].

Pro samotnou optimalizaci obráběcího procesu je zásadní opotřebení nástroje. Proto je zapotřebí opotřebení kvantifikovat, aby bylo možné následně vytvořit závislosti. Nejčastěji se kvantifikuje šířka fazetky opotřebení na hřebě označována jako VB, dále hloubka výmolu na čele KT. Zvláště pro dokončovací operace má velký význam radiální opotřebení špičky KV_y, které má vliv na rozměr obrobeneé plochy [5].

Aby bylo možné dále rozebírat problematiku opotřebení řezných nástrojů, je zapotřebí si definovat pojmy trvanlivost T a životnost Z řezného nástroje. Trvanlivost řezného nástroje se rovná součtu všech časů řezání až po opotřebení břitu nástroje, podle předem zvoleného kritéria opotřebení. V zásadě toto kritérium opotřebení musí být nastaveno tak, aby opotřebení nástroje nezpůsobilo překročení požadovaných

rozměrů obrobku. To znamená například jeho drsnost nebo rozměry a další. Trvanlivost se většinou udává v minutách a většinou bývá předepsána výrobcem. Životnost řezného nástroje je pak suma všech jeho trvanlivostí. To lze také definovat jako součet celkové doby od začátku využívání nástroje až po jeho vyřazení. Životnost řezného nástroje je opět udávána v minutách [4].

Důležitým faktem je, že trvanlivost řezného nástroje závisí nejvíce na řezné rychlosti. To zjistil F. W. Taylor, již v roce 1905, a následně odvodil vztah, který popisuje závislost mezi těmito veličinami. Zkoušky při kterých se stanovují hodnoty opotřebení a řezných rychlostí jsou normalizované. Prvním krokem takových zkoušek je stanovení kritéria opotřebení, které se bude hodnotit. Tím může být například KT nebo VB a další. Nejjednodušším způsobem, jak analyzovat opotřebení nástroje, je pomocí křivek opotřebení nástroje VB v závislosti na čase. Tato závislost je vyobrazena na obrázku 1.9. Doporučené hodnoty VB dle literatury [4] je 0,3–0,4 mm. Dle grafu na obrázku 1.9 v oblasti I, která se nazývá pásmo záběru, má hodnota VB rychlý růst. To je zapříčiněno velkým měrným tlakem. Oblast II se nazývá pásmem normálního opotřebení. A oblast III je tzv. pásmo zrychleného opotřebení, to je vlivem zvýšení tepelného zatížení [5].



Obrázek 1.9 Velikost hřbetního opotřebení VB v závislosti na čase [5].

Možnosti měření opotřebení řezného nástroje

Způsoby měření opotřebení řezného nástroje je popsáno dle literatury [28]. V této podkapitole je popsáno jakým způsobem je možné měřit opotřebení řezného nástroje. To je právě nezbytně nutné při vyhodnocování životnosti řezného nástroje. Jelikož v této práci se prakticky takové vyhodnocování provádět nebude, tak tyto jednotlivé způsoby budou popsány velice stručně.

Při většině metod opotřebování řezného nástroje dochází k úbytku materiálu na čele, či hřbetě nástroje. Způsoby, jak takovou změnu měřit, jsou dvojí. Prvním způsobem jsou přímé metody a druhým, metody nepřímé.

Mezi přímé metody měření tedy například patří:

- měření vybraného kritéria opotřebení (VB – dílenský mikroskop, KT – profiloměr, KV_y – délkové měřidlo),

- měření hmotnosti břitové destičky,
- optické sledování funkční plochy,
- elektrické metody,
 - odporové – sledování změny odporu mezi nástrojem a obrobkem,
 - indukční,
 - sledování vzájemné polohy nástroje a obrobku,
- ultrazvukové metody měření,
- pneumatické metody měření,
- měření rozměru obrobku.

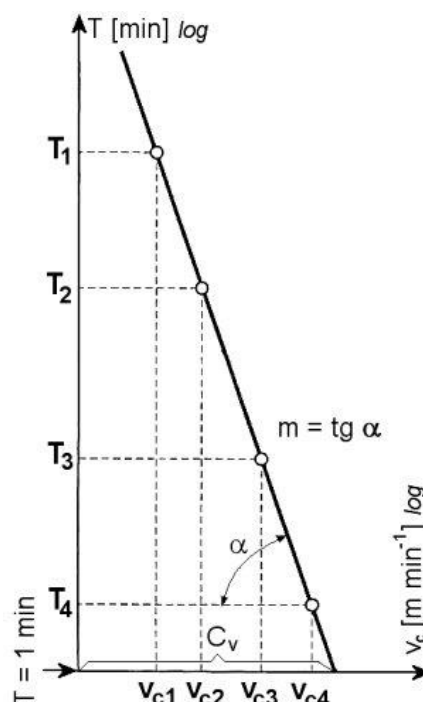
Mezi nepřímé metody měření lze zařadit:

- měření a vyhodnocování složek řezné síly,
- měření a vyhodnocování elektrického příkonu obráběcího stroje,
- měření a vyhodnocování kmitání soustavy,
- měření a vyhodnocování teploty řezání – zbarvení třísek, obrobku,
- měření drsnosti povrchu obrobené plochy,
- sledování druhotných subjektivních projevů opotřebení – charakteristický zvuk, změna tvaru třísky a další.

Stanovení trvanlivosti řezného nástroje

Jak už bylo výše napsáno, v této práci se prakticky nebude vyhodnocovat opotřebení nástroje pomocí určitého kritéria. Ale jelikož pro optimalizaci obráběcího procesu bude využívána závislost trvanlivosti na řezné rychlosti, je tato problematika potřeba zhodnotit alespoň teoreticky.

V tomto případě se vychází ze závislosti T na čase, při určité řezné rychlosti. Tato závislost je vyobrazena na obrázku 1.9. Z této závislosti jsou odečteny hodnoty T_1 až T_4 , které odpovídají konkrétním řezným rychlostem v_{c1} až v_{c4} . Tyto jednotlivé body po převodu do logaritmických souřadnic, lze zaznamenat do diagramu, viz obrázek 1.10 [28].



Obrázek 1.10 Závislost $T - v_c$ v logaritmických souřadnicích [5].

Z této $T - v_c$ závislosti resp. Taylorova vztahu lze následně odvodit níže uvedené rovnice (1.44 až 1.47). Konstanta C_T je stanovena pro určitý obráběný materiál, posuv a šířka záběru ostří. Je možné ji odečíst z osy T , viz obrázek 1.9, pro řeznou rychlost v_c rovnou 1 m/min. Analogicky lze odečíst konstanta C_v a to na ose v_c pro trvanlivost T rovno 1 minutě. Dále na obrázku 1.9 je vyjádřen exponent m , který vyjadřuje směrnici vzniklé přímky. Výpočet převzat z literatury [4].

$$v_c \cdot T^m = C_v \quad (1.44)$$

$$v_c = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \quad (1.45)$$

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad (1.46)$$

$$C_T = C_v^m \quad (1.47)$$

Často využívaným tvarem rovnice sloužící při přepočtu trvanlivostí je rovnice (1.48). Z této rovnice lze také získat konstantu C_T .

$$T_1 \cdot v_{c1}^m = T_2 \cdot v_{c2}^m = C_T \quad (1.48)$$

Exponent m se získá z rovnice (1.48). A to jejím zlogaritmováním, viz rovnice (1.49). Z rovnice (1.49) lze tedy následně vyjádřit exponent m ve tvaru rovnice (1.50).

$$\log T_1 \cdot m \cdot \log v_{c1} = \log T_2 \cdot m \cdot \log v_{c2} \quad (1.49)$$

$$m = \frac{\log T_2 - \log T_1}{\log v_{c1} - \log v_{c2}} \quad (1.50)$$

Aby bylo možné jednotlivé vztahy použít pro reálný proces obrábění, je nutné dodržet několik podmínek. Je zapotřebí dodržet konstantnost jednotlivých aspektů obráběcího procesu. To znamená, že posuv f a šířka záběru ostří a_p se během obrábění nemění. Stanovené opotřebení VB je taktéž konstantní. Dále je potřeba dodržet, aby přívod procesní kapaliny byl stejný ve všech případech a stejně tak stav obráběného polotovaru a stroje [4].

2 ROZBOR ZVOLENÉ ROTAČNÍ SOUČÁSTI

Pro tuto diplomovou práci byla zvolena rotační součást, která se ve firmě EXCALIBUR ARMY spol. s r.o. vyrábí opakovaně ve větších sériích, viz obrázek 2.1. A jelikož je ve firmě většina vyráběných součástí spíše malosériová, či kusová, tak optimalizace řezných podmínek této součásti je vhodná. Jsou očekávány větší ekonomické úspory v porovnání s ostatními dílci.

2.1 Popis a funkčnost součásti

Jedná se o rotační součást použitou, jako vedení ventilu v motorovém systému motoru. Je to poměrně namáhaná součást, proto je při opravě motoru většinou měněna. Z toho plyne zvýšená potřeba výroby nových kusů a větší sériovost součásti.



Obrázek 2.1 Zvolená rotační součást.

2.2 Konstrukční rozbor

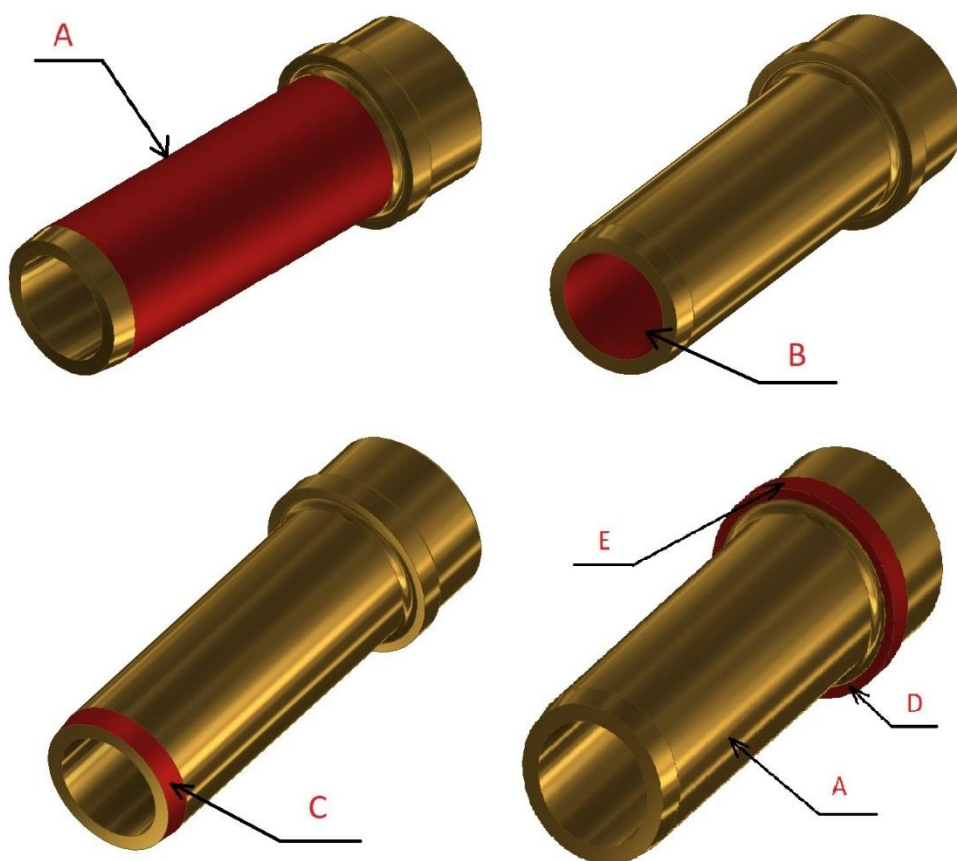
Součást je zalisována do hlavy válců motoru. Díra určená pro zalisování vedení ventilu má na výkrese předepsán rozměr $\varnothing 24\ H7$ mm. Z toho vyplývá nutnost dodržení tolerance $\varnothing 24_{+0,059}^{+0,075}$ mm, viz příloha 1. Tolerance tak zaručí přesah a vedení ventilu je po zalisování pevně uchyceno v hlavě válců. Dále se od této válcové plochy, pro přehlednost názorně označená v obrázku 2.2 jako plocha A, odvíjí i geometrické tolerance. Válcová plocha slouží jako základna pro tyto geometrické tolerance. Střední aritmetická úchylka profilu je na tuto plochu předepsána $Ra=1,6\ \mu\text{m}$.

Pro správné plnění funkčnosti součástí je velice důležité dodržení předepsané tolerance u díry $\varnothing 18\ H7$ mm, viz příloha 1 a na obrázku 2.2 označena písmenem B. Díra je určena k vedení ventilu. Ve stykovém místě má ventil předepsán rozměr $\varnothing 18_{-0,033}^{0,016}$ mm a je tedy zaručena vůle mezi ventilem a jeho vedením. Nezbytné je díru upravit na finální rozměr až po zalisování do sestavy a to z důvodu možného zmenšení průměru díry. Dále je na díru předepsaná geometrická tolerance kruhového házení, viz příloha 1. Střední aritmetická úchylka profilu je na tuto díru předepsána $Ra=1,6\ \mu\text{m}$. Nízká drsnost povrchu je v této díře důležitá kvůli zaručení bezproblémového vedení ventilu bez zadrhávání.

Sražení 7° , viz příloha 1, označeno na obrázku 2.2 písmen C, slouží pouze pro jednodušší ustavení vedení ventilu před lisováním do hlavy válců. Proto tento rozměr není předepsán ve zvláště vysoké toleranci v porovnání s ostatními rozměry na součásti. Střední aritmetická úchylka profilu na této kuželové ploše je $Ra=6,3\ \mu\text{m}$.

Geometrická tolerance kruhového házení, která je vztažena k ploše A, viz příloha 1, je dále předepsána na čelní plochu označenou písmenem D a válcovou plochu označenou písmenem E na obrázku 2.2. Geometrická tolerance na čelní plochu je předepsána z důvodu správného dosednutí čelní plochy po zalisování na protikus.

Zbytek rozměrů, viz příloha 1, není natolik funkčně důležitých, proto nejsou jednotlivě rozebrány.



Obrázek 2.2 Funkční části zvolené součásti.

2.3 Materiál součásti

Dle výkresu, viz příloha 1, je na výrobu součástí použita slitina mědi a hliníku. Číselné označení CW307G dle EN1412 a označení značkami CuAl10Ni5Fe4 dle ISO 1190-1. Materiál je dodáván jako tyčový kruhový v délce 3000 ± 200 mm dle ČSN EN 12163. Materiál je ve stavu M dle EN1173, to znamená bez stanovených mechanických vlastností [31]. Chemické složení materiálu je v tabulce 2.1.

Jedná se o materiál odolný proti korozi, opotřebení, kavitaci, a to i za zvýšených teplot. Řadí se mezi vysoce pevné slitiny mědi. Z toho vyplývá, že materiál je vhodný k výrobě ložisek a podobných typů dílů [16].

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu součásti dle ČSN EN 12163 [31].

Prvek	Cu	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	Sn	Zn	jiné
min	zbytek	8,5	3,0	-	4,0	-	-	-	-	-
max	-	11,0	5,0	1,0	6,0	0,05	0,2	0,1	0,4	0,2

3 STÁVAJÍCÍ STAV VÝROBY SOUČÁSTI

V této kapitole je podrobně rozepsán stávající stav výroby zvolené součásti. Je zde zhodnocen polotovar a spotřeba materiálu. Dále stroj a nástroje, které jsou k výrobě použity. Vytvořen technologický postup a sepsány stávající řezné podmínky používané při obrábění součásti. Následně jsou zhodnoceny současné výrobní časy a náklady.

3.1 Výpočet normy spotřeby materiálu

Při výběru polotovaru se dbá zejména na ekonomické hledisko. Snahou je docílit, aby rozměry polotovaru byly co nejblíže rozměrům finálně vyrobené součásti. Při určování polotovaru by se mělo dbát následujících zásad. Vynaložená práce na výrobu součásti by měla být minimální. Velikost přídavek na obrábění by neměly být příliš velké. Volit by se měly s ohledem na požadované rozměry a tolerance součásti, ale současně hledět na minimální spotřebu materiálu [8].

Nejvíce zpracovávanými materiály ve strojírenství jsou tyčové materiály (hutní materiál válcovaný nebo tažený). Dále se ve velké míře využívají například odlitky a výkovky, vylisky, svařence, výpalky. Mezi novější metody patří například výroba polotovaru pomocí práškové technologie [9].

Při obrábění součásti se postupně odebírají vrstvy materiálu z polotovaru, aby se dosáhlo výsledných rozměrů součásti. Postupně se tak mění tvar, rozměr a drsnost povrchu materiálu. Tyto vrstvy odebírané k získání výsledných rozměrů se nazývají přídavek [8]. Největší průměr součásti, viz příloha 1, je průměr 30 mm. Z toho vyplývá zvolení průměru výchozího polotovaru.

Při stávající výrobě je použit tyčový kruhový materiál dodávaný v délce 3 m, blíže popsán v kapitole 2.3. Tento materiál je následně dělen na přířezy o délce 1 m, viz obrázek 3.1. Tato délka přířezu je výhodná zejména kvůli snadné manipulaci s materiálem a následnému snadnému vkládání do obráběcího stroje v porovnání s původní délkou polotovaru.



Obrázek 3.1 Uskladněné přířezy.

Pro získání normy spotřeby materiálu existují dvě možnosti. První způsob je statistická metoda a druhý způsob je založen na podrobném propočtu jednotlivých faktorů, které ovlivňují spotřebu materiálu. Při takovém propočtu jsou jednotlivé působící faktory počítány pro konkrétní případ a nevychází pouze z podobných nebo zobecněných případů. Proto je druhá metoda přesnější [8].

Statistická metoda vychází ze statistických záznamů o spotřebě materiálu vzniklé při výrobě součástí podobného charakteru. Přesnost této metody není příliš velká. Slouží zejména jako orientační ukazatel spotřeby materiálu [9].

Pro tuto diplomovou práci nejsou žádné statistické záznamy o spotřebě materiálu k dispozici. Z tohoto důvodu je nutné použít metodu druhou s podrobným propočtem jednotlivých faktorů.

Aby mohl být podnik materiálově technicky zabezpečen, je důležité vycházet z normy spotřeby materiálu. V této práci je tato norma použita především pro výpočet výrobních nákladů.

Při zpracování tyčového materiálu, vznikají ztráty [9]:

- a) dělením materiálu,
- b) obráběním přídavků,
- c) z rozměrově nevyužitelného (pro danou součást) konce tyče.

3.1.1 Ztráta mat. vzniklá dělením materiálu připadající na jednici „ q_u “

Hutní materiál se většinou před zpracováním dělí na jednotlivé přířezy požadované délky. Hlavním důvodem je zejména manipulace s materiálem, a to jak při pohybu pracovištěm, tak při samotném vkládání a upínání do stroje. Při stávající výrobě je materiál dodáván v délce 3 m. Z této délky je materiál dělen na 3 přířezy o délkách 1 m. Jednotlivé díly jsou na požadovaný rozměr děleny upichováním při samotném obráběcím procesu na výrobní stroji. Tyto ztráty jsou započítány do ztrát vzniklé obráběním přídavku na jednici, viz kapitola (3.1.3). Ztráta materiálu vzniklá dělením na jednici se spočítá dle rovnice (3.3) [17].

Počet kusů z jedné tyče

Nejprve je nutné zjistit, kolik kusů je možné vyrobit z jednoho přířezu n_p , viz rovnice (3.1). Následně kolik kusů je možné vyrobit z jedné tyče podle rovnice (3.2). To se spočítá jako délka přířezu l_p podělená délkou polotovaru l_{pol} . Když se tento podíl vynásobí počtem přířezů z jedné tyče p_p , tak výsledkem je počet kusů vyrobitelný z jedné tyče n_t [9, 17]. Přesto, že by bylo možné z jednoho přířezu vyrobit 12 ks součástí, tak se bude vyrábět pouze 11 ks součástí. To je z důvodu, že jedenáctá vyráběná součást je potřeba upnout za konec přířezu. Další důvod je, že reálně dodávaná tyč má určitou rozměrovou toleranci.

$l_p=1000$ mm, $l_{pol}=83$ mm, $p_p=3$, $a=2$, $d_{pol}=32$ mm, $\rho_{mat}=7600$ kg/m³, $s=0,9$ mm

$$n_p = \frac{l_p}{l_{pol}} \quad [ks] \quad (3.1)$$

$$n_p = \frac{1000}{83} = 12,05 \rightarrow 11 \text{ ks}$$

$$n_t = p_p \cdot n_p \text{ [ks]} \quad (3.2)$$

$$n_t = 3 \cdot 11 = 33 \text{ ks}$$

$$q_u = \frac{a \cdot \frac{\pi \cdot d_{pol}^2}{4} \cdot \rho_{mat} \cdot s}{n_t} \text{ [kg]} \quad (3.3)$$

$$q_{u1} = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \cdot 7600 \cdot 0,0009}{33} = 3,334 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

3.1.2 Ztráta mat. z nevyužitého konce tyče připadající na jeden kus „q_k“

V mnoha případech při zpracovávání tyčového materiálu zbude část materiálu, která je pro svoje rozměry pro danou výrobu dále nevyužitelná. Proto tyto části končí často jako odpad. Přesto je tato ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče podstatnou částí při výpočtu normy spotřeby materiálu. Tuto hodnotu je možné získat například odečtením délek všech polotovarů, které jsou možné z tyče vyrobit, od původní délky tyče. Je nutné uvažovat i ztrátu materiálu vzniklou dělením materiálu, která už je zohledněna v předešlém kroku, aby tento materiál nebyl znovu započten. Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici se následně spočítá z rovnice (3.5). Z rovnice (3.4) se spočítá celková délka nevyužitého konce tyče [9].

$n_t=33 \text{ ks}$, $l_{pol}=83 \text{ mm}$, $a=2$, $d_{pol}=32 \text{ mm}$, $\rho_{mat}=7600 \text{ kg/m}^3$, $s=0,9 \text{ mm}$, $l_t=3000 \text{ mm}$

$$l_k = (l_t - a \cdot s) - n_t \cdot l_{pol} \quad (3.4)$$

$$l_k = (3000 - 2 \cdot 0,9) - 33 \cdot 83 = 259,2 \text{ mm}$$

$$q_k = \frac{l_k \cdot \frac{\pi \cdot d_{pol}^2}{4} \cdot \rho_{mat}}{n_t} \text{ [kg]} \quad (3.5)$$

$$q_{k1} = \frac{0,2592 \cdot \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \cdot 7600}{33} = 0,048 \text{ kg}$$

3.1.3 Ztráta mat. vzniklá obráběním přídatku příp. na jeden kus „q₀“

Při přetváření polotovaru za účelem získání požadovaných rozměrů a drsnosti povrchů se odebrává z polotovaru materiál. Tento materiál je většinou považován za odpadní. Hmotnost tohoto materiálu se získá z rovnice (3.7) [17]. Nejprve je nutné vypočítat hmotnost polotovaru, viz rovnice (3.6) [9]. Hmotnost hotové součásti byla zjištěna dle programu Autodesk Inventor Professional 2019.

$m_{kg}=0,142 \text{ kg}$, $l_{pol}=83 \text{ mm}$, $d_{pol}=32 \text{ mm}$, $\rho_{mat}=7600 \text{ kg/m}^3$

$$m_p = l_{pol} \cdot \frac{\pi \cdot d_{pol}^2}{4} \cdot \rho_{mat} \text{ [kg]} \quad (3.6)$$

$$m_{p1} = 0,083 \cdot \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \cdot 7600 = 0,507319 \text{ kg}$$

$$q_0 = m_p - m_{kg} \text{ [kg]} \quad (3.7)$$

$$q_{01} = m_{p1} - m_{kg} = 0,507319 - 0,142 = 0,3653195 \text{ kg}$$

3.1.4 Celkové ztráty materiálu připadající na jeden kus

Sečtením jednotlivých ztrát z podkapitol 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, se získá celková ztráta materiálu, připadající na jednici. Matematický zápis viz rovnice (3.8) [9, 17].

$$q_{u1} = 3,334 \cdot 10^{-4} \text{ kg}, q_{k1} = 0,048 \text{ kg}, q_{01} = 0,3653195 \text{ kg},$$

$$Z_m = q_u + q_k + q_0 \text{ [kg]} \quad (3.8)$$

$$Z_{m1} = 3,334 \cdot 10^{-4} + 0,048 + 0,3653195 = 0,413653 \text{ kg}$$

3.1.5 Norma spotřeby materiálu

Norma spotřeby materiálu se získá součtem hmotnosti součástí a celkové ztráty materiálu připadající na jednici, viz rovnice (3.9) [9, 17].

$$m_{kg} = 0,142 \text{ kg}, Z_{m1} = 0,413653 \text{ kg}$$

$$N_m = m_{kg} + Z_m \text{ [kg]} \quad (3.9)$$

$$N_{m1} = 0,142 + 0,413653 = 0,55565 \text{ kg}$$

3.1.6 Stupeň využití materiálu

Stupeň využití materiálu se vypočítá dle rovnice (3.10) [17]. Dle tohoto parametru lze soudit celkovou pracnost výrobku dále pokrokovost výroby apod. Pokud hodnota koeficientu využití materiálu je blízko jedné, vyplývá z toho, že množství odebraných třísek je malé. S tím souvisí i nižší potřebné časy na obrábění a naopak. Pokud se ve výrobě daří zvyšování stupně využití materiálu, tak se tím snižuje pracnost výroby a roste produktivita práce [9].

$$m_{kg} = 0,142 \text{ kg}, N_{m1} = 0,55565 \text{ kg}$$

$$k_m = \frac{m_{kg}}{N_m} [-] \quad (3.10)$$

$$k_{m1} = \frac{0,142}{0,55565} = 0,256$$

Stupeň využití materiálu dané součásti z výchozího polotovaru vyšel 0,256. To je relativně malý stupeň využití materiálu, jelikož ve strojírenství se většinou pohybuje v rozmezí 0,4 - 0,8 [9, 17]. Takto nízká hodnota je zapříčiněna zejména tím, že je celá součást dutá. Stupeň využití materiálu by šel zvýšit například změnou výchozího polotovaru.

3.2 Výrobní strojní zařízení

Stroj 1 - Gravitační pásová pila Pegas 230 x 280 GH-LR

Jelikož hutní materiál je v tomto případě dodáván v délce 3 m je potřeba materiál dělit na požadovaný rozměr. Je to výhodné zejména kvůli manipulaci s materiálem. Pro tuto činnost je zvolena gravitační pásová pila Pegas 230 x 280 GH-LR, která je vyobrazena na obrázku 3.2. Při provozu stroje je potřeba obsluhy. Pracovní pohyb ramene je uskutečňován pomocí jeho hmotnosti. Tato pásová pila je vhodná pro velké množství druhů materiálů různých tvarů. Jak plné polotovary, tak profily. Lze nastavit řezy pod úhlem. Jelikož provoz na této pile není automatizovaný, tak její využití je zejména v malosériové výrobě [10].



Obrázek 3.2 Gravitační pásová pila 230x280 GH-LR [10].

Stroj 2 - CNC soustružnické centrum DOOSAN Lynx 220LYC

Pro obrábění součástí je použito CNC soustružnické centrum DOOSAN Lynx 220LYC. Stroj má poměrně malé zástavbové rozměry, což je jeho velkou výhodou a je tedy vhodný i do provozů s omezeným zástavbovým prostorem. Do nástrojové hlavy BMT45P je možné upnout až 24 nástrojů a tím efektivněji obrábět i složitější součásti, jejíž výroba vyžaduje více nástrojů. Technické parametry jsou obsaženy v tabulce 3.1 a fotografie stroje ve výrobě na obrázku 3.3 [11].



Obrázek 3.3 CNC soustružnické centrum DOOSAN Lynx 220LYC.

Tab. 3.1 Technické parametry CNC soustružnického centra DOOSAN Lynx 220LYC [11].

Popis	Jednotky	Hodnoty
Základní technická data	-	-
Max. oběžný průměr nad ložem	[mm]	600
Max. oběžný průměr nad suportem	[mm]	400
Doporučený průměr soustružení	[mm]	210
Max. délka soustružení	[mm]	510
Průměr soustružené tyče	[mm]	65
Posuv	-	-
Posuv osa x	[mm]	205
Posuv osa y	[mm]	110
Posuv osa z	[mm]	550
Hlavní vřeteno	-	-
Otáčky	[mm ⁻¹]	60-4500
Průměr předního ložiska	[mm]	110
Průměr otvoru vřetena	[mm]	76
Úhlová indexace vřetena	[°]	360 (indexace 0,001°)
Nástrojová hlava	-	-
Počet míst v nástrojové hlavě	-	24
Čas indexace	[s]	0,15
Otáčky poháněných nástrojů	[min ⁻¹]	6000
Rychloposuv	-	-
Rychloposuv osa X	[m/min]	30
Rychloposuv osa Y	[m/min]	10
Rychloposuv osa Z	[m/min]	36
Max. řezná rychlost osa X (posuv na otáčku)	[mm]	500
Max. řezná rychlost osa Z (posuv na otáčku)	[mm]	500
Koník	-	-
Průměr pinoly	[mm]	65
Posuv pinoly	[mm]	80
Motory	-	-
Výkon motoru hlavního vřetena	[kW]	15
Výkon servo motor osa X	[kW]	1,8
Výkon servo motor osa Z	[kW]	1,8
Výkon motoru poháněného nástroje	[kW]	3,7
Výkon čerpadla chladicí kapaliny	[kW]	0,4
Celkový příkon stroje	[kW]	25,6
Celkové rozměry stroje	-	-
Výška	[mm]	1920
Délka	[mm]	2850
Šířka	[mm]	1710
Hmotnost	[kg]	3900

Stroj 3 – Univerzální hrotový soustruh SN 32

Pro sražení hrany 45°, viz příloha 1, je použit univerzální hrotový soustruh SN 32 od firmy TRENS SK, a. s. viz obrázek 3.4. Jeho hlavní výhodou je jeho nízká pořizovací cena a nízké provozní náklady oproti CNC strojům. Ale ve srovnání s automatizovanými CNC stroji při výrobě většinou vzniká mnoho vedlejších časů (výměna nástroje, manuální nastavení otáček, manuální nastavení posuvu). Přesto příprava výroby je většinou jednodušší a rychlejší. Z toho vyplývá, že univerzální hrotový soustruh SN 32 je vhodný zejména ke kusové, či malosériové výrobě [5,15].






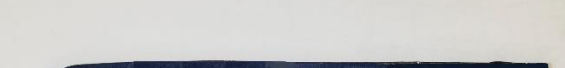



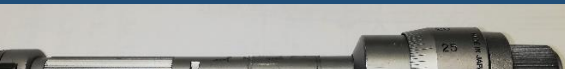

Obrázek 3.4 Univerzální hrotový soustruh SN 32 [15].





3.3 Použité nástroje a měřidla

V této kapitole jsou uvedeny nástroje použité pro výrobu součástí při stávajícím stavu výroby. Dále je posouzena vhodnost jednotlivých použitých nástrojů pro daný výrobní úkon.

Tab. 3.2 Přehled použitých nástrojů [12, 13, 21, 22, 23, 29].

Ozna č	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	Obrázek
T1	Pilový pás	BOMAR, spol. s r.o.	2720x27x0,9 M42 6/10z	
T2	Nožový držák pro vnější soustružení	Dormer Pramet s.r.o.	SVJCR 2020 K16- M-A	
	VBD pro vnější soustružení	Dormer Pramet s.r.o.	VBMT 160404E- FM	

T3	Vrták Ø17,8 mm	Precitool cz s.r.o.	Precitool- GP, TiAlN, 5xD, vnitřní chlazení, 4155	
T4	Nožový držák pro vnitřní soustružení	Dorme r Pramet s.r.o.	A12K- SDUCR 07	
	VBD pro vnitřní soustružení	Dormer Pramet s.r.o.	DCMT 070204E-FM	
T5	Nožový držák upichovací a zapichovací	Dormer Pramet s.r.o.	GFMR 2020 K0316	
	VBD upichovací a zapichovací	Dormer Pramet s.r.o.	LCMF 031604-M	
T6	Nůž soustr. ubírací ohnutý	Nespecifi -kovaný	Nespecifiko -vaný	
T7	Výstružník ruční Ø 18H7	M&V, spol. s r.o., divize STIMZET	Výstružník 18H7 ČSN 221420	
M1	Posuvné měřítko	KINEX Measu- ring s.r.o.	Kinex Absolute Zero 150/40 mm	
M2	Třmenový mikrometr 0-25 mm	Nespeci- fikovaný	Nespecifiko- vaný.	
M3	Třídutkový dutinoměr 16-20mm	Nespeci- fikovaný	Nespecifi- kovaný	

M4	Svinovací metr 3 m	STANLEY	Powerlock	
M5	Měrka rádiusová 1-7 mm	KINEX Measuring s.r.o.	Měrka rádiusová 1-7 mm Kinex, ČSN 25 3816	
M6	Měrka pro měření sražených hran 45°	Helios-Preisner	Měrka pro měření sražených hran 30°, 45°, 60°	
M7	Přístroj na měření drsnosti povrchu	Mitutoyo Česko s.r.o.	Přístroj na měření drsnosti povrchu Surftest SJ-210	

T1 – Pilový pás

Gravitační pásový pila Pegas 230x280 GH-LR je osazena pilovým pásem BOMAR Ergonomik 275.230 DG, který je vyobrazen v tabulce 3.2 Tento pás je vhodný k dělení plných i profilových materiálů různých druhů [12].

T2 – Nožový držák a VBD pro vnější soustružení

Pro soustružení vnějších ploch je použit nožový držák SVJCR 2020 K16-M-A, který je použit jak na hrubování vnějšího povrchu, tak na soustružení na čisto. Vyměnitelná břitová destička je použita VBMT 160404E-FM [13]. V tabulce 3.2 je obrázek nástroje. V příloze 2 jsou uvedeny náčrty a technické parametry udávané výrobcem. Podle obrázků v příloze 2 je také možné určit geometrické limity nástroje, které je při výrobě nutno zohlednit. Vyměnitelná břitová destička je vhodná zejména pro dokončovací a polohrubovací soustružení. VBD je vhodná pro materiály skupiny P a M. Je možné obrábět i mírně přerušovaný řez. Informace ohledně povlaku VBD jsou v příloze 2 [13].

Podle informací z katalogu výrobce není nástroj vhodný k obrábění materiálu, ze kterého je součást vyrobena. Z toho vyplývá, že volba nástroje není správná, přesto ve výrobě tato kombinace funguje. Při výměně VBD za vhodnou pro obrábění skupiny materiálu, jako je vyráběná součást, je možné předpokládat kladnou změnu vlastností řezného procesu, která se může projevit různými způsoby. Například životnost nástroje, lepší odvod třísky, výhodnější tvar třísky, menší teplota řezu atd.

T3 – Vrták Ø17,8 mm

Pro předvrtání díry Ø18H7 mm je použit vrták dodávaný firmou PRECITOOL CZ s.r.o, označený jako PRECITOOL-GP, TiAlN, stopka HA, 5 x D, s vnitřním chlazením Ø 17,80 mm. Jedná se o šroubovitý vrták ze slinutého karbidu s povlakováním na bázi TiAlN. Dodavatel uvádí několik předností, kterými by měl být vrták charakteristický. To je například velká životnost vrtáku, optimální lámání třísky i ve velkých hloubkách, vysoká přesnost a další. Jelikož není uveden porovnávací nástroj, resp. nástroj, ke kterému by bylo možno tyto vlastnosti stáhnout, lze tyto informace brát pouze jen jako informační, nevypovídající o kvalitě a parametrech nástroje. Dodavatel uvádí, že vrták má univerzální použití, co se týče materiálu, které je schopen obrábět. Jedná se zejména o skupiny materiálu P, M, K pro které uvádí rozsah vhodné řezné rychlosti. Základní parametry vrtáku jsou uvedeny v příloze 2 [19].

Přesto, že vrták by měl být, co se týče obráběných materiálů, univerzální, tak pro materiál součásti nemá výrobcem předepsané řezné podmínky. Tudíž nelze zhodnotit, zdali je vrták použit správně.

T4 – Nožový držák a VBD pro vnitřní soustružení

Pro soustružení vnitřní válcové plochy po předchozím vrtání je použit nožový držák A12K-SDUCR 07 s vyměnitelnou břitovou destičkou DCMT 070204E-FM. V příloze 2 jsou technické parametry nožového držáku a VBD. VBD je použitelná zejména na obrábění na čisto, či polohrubování. Skupiny materiálu P a M jsou vhodné skupiny materiálů pro obrábění touto VBD. Lze obrábět i mírně přerušovaný řez. Informace ohledně povlaku VBD jsou v příloze 2 [13].

Hodnocení použitého nástroje pro materiál součásti je opět záporné. Dle katalogu výrobce není VBD určena k obrábění skupiny materiálu, ze kterého je součást vyrobena. Přesto tato výroba splňuje požadavky na kvalitu, která je nastavena firmou. Je však pravděpodobné, že při použití vhodnější VBD, doporučenou výrobcem, by bylo možné dosáhnout lepších výsledků.

T5 – Nožový držák a VBD pro upichování a zapichování

Pro upíchnutí součásti je použit nožový držák GFMR 2020 K0316 s vyměnitelnou břitovou destičkou LCMF 031604-M. V příloze 2 jsou uvedeny technické parametry nožového držáku a VBD. VBD je vhodná k zapichování, ale také k podélnému soustružení. Skupiny materiálu vhodné k obrábění touto VBD jsou P, K, M. Zejména pro dokončovací soustružení [13].

Opět po posouzení katalogu výrobce není vyměnitelná břitová destička vhodná k obrábění materiálu součásti. Volba nástroje není správná, ale ve výrobě nástroj funguje, podle požadavků kvality výroby nastavenou firmou. Změnou VBD za vhodnou k obrábění materiálu součásti je možno dosáhnout příznivějších vlastností řezného procesu.

T6 – Nuž soustružnický ubírací ohnutý

Pro operaci 40 je použit blíže nespecifikovaný soustružnický nuž ubírací ohnutý 12x12 (pravý). Jedná se pouze o dokončovací operaci, kde se u vyráběné součásti vytvoří sražení 1 x 45° dle výkresu v příloze 1, a dle stávajícího technologického postupu, viz tabulka 3.3.

T7 – Výstružník Ø18H7 s válcovou stopkou

Pro operaci 5, která probíhá už na montážní lince je použit výstružník o průměru Ø18H7 s válcovou stopkou dle ČSN 22 1420. Tento výstružník je vyroben z HSS a je vhodný zejména k malosériové výrobě. Je s ním možné obrábět velkou paletu materiálů, z toho vyplývá, že pro použití v tomto případě je vhodný [20].

M1 – Posuvné měřítko

Většina rozměrů součástí je měřena digitálním posuvným měřítkem Kinex Absolute Zero 150/40 mm. Toto měřidlo je schopno měřit do rozměru 150 mm s přesností 0,02 mm. Délka ramene je 40 mm [14]. V tabulce 3.2 je posuvné měřítko vyobrazeno.

M2 – Třmenový mikrometr 0–25 mm

Pro měření vnější plochy $\varnothing 24^{+0,075}_{+0,059}$ mm je použit třmenový mikrometr s rozsahem měření 0–25 mm. Výrobce mikrometru je nespecifikován. Obrázek třmenového mikrometru je v tabulce 3.2.

M3 – Třídítkový dutinoměr 16–20 mm

Měření vnějšího průměru $\varnothing 18H7^{+0,075}_{+0,059}$ mm je prováděno pomocí třídítkového dutinoměru 16–20 mm, jehož výrobce je nespecifikován. Obrázek je v tabulce 3.2.

M4 – Svinovací metr 3 m

Pro přeměření přířezu při dělení materiálu je vhodné použít svinovací metr. Pro tento účel je zvolen metr značky STANLEY s firemním označením POWERLOCK, který plně splňuje požadavky na tento úkon. Obrázek v tabulce 3.2 je ze zdroje [21].

M5 – Měrka rádiusová 1–7 mm

Pro změření rádiusu R1,5-0,5 mm, viz výkres v příloze 1, je použita rádiusová měrka 1–7 mm ČSN 25 3816 od výrobce KINEX Measuring s.r.o. Fotografie v tabulce 3.2 podle zdroje [22].

M6 – Měrka pro měření sražených hran 45°

Pro měření sražených hran 1x45° byla vybrána měrka dodávaná firmou Kalibrační laboratoř Zindler. Tato měrka má měřicí rozsah 10 mm a je schopna měřit sražení pod úhlem 30°, 45° a 60°. Obrázek obsažený v tabulce 3.2 je dle literatury [23].

M7 – Přístroj na měření drsnosti povrchu

Na měření střední aritmetické úchytky profilu, předepsané na výkrese je použit drsnoměr Surftest SJ-210 od firmy Mitutoyo Česko s.r.o. Tento drsnoměr je schopen měřit všechny předepsané rozměry dle výkresu, viz příloha 1. Obrázek v tabulce 3.2 dle literatury [29].

3.4 Stávající technologický postup výroby

V této podkapitole je sepsán technologický postup stávajícího stavu výroby součásti, viz tabulka 3.3. Nástroje, které jsou použity v technologickém postupu v tabulce 3.3, jsou popsány v kapitole 3.3 a příloze 2.

Tab. 3.3 Stávající technologický postup.

FSI VUT v Brně, ÚST			TECHNOLOGICKÝ POSTUP	
Název součásti		Materiál	Polotovar	Čistá hmotnost
Vedení ventilu		CW307G	KR 32 - 83	0,142 kg
Op.	Pracoviště	Stroj	Popis práce	Nástroje Měřidla
10	Dělrna materiálu	1	Dělit materiál $\varnothing 32$, na délku $1000^{\pm 2}$. Kontrolovat délku četnost 100 %.	T1 M4
20	Obrobna	2	Vysunout na délku 95, upnout do sklíčidla. Zarovnat čelo. Hrubovat obvodový vnější tvar s přídavkem $0,5^{+0,2}$. Soustružit na čisto obvodový vnější tvar. Vrtat díru $\varnothing 18/81^{-1}$ (vrták $\varnothing 17,8$) s přídavkem $0,2^{\pm 0,1}$. Při vrtání vrták vysouvat po 6 mm. Soustružit vnitřní díru $\varnothing 18^{\pm 0,02}/79^{+0,5}$. Upíchnout na délku $79^{+0,5}$.	T2 T2 T2 T3 T4 T5
30	Pracoviště kontroly		Kontrolovat všechny rozměry četnost 20 %. Kontrolovat díru $\varnothing 18^{\pm 0,02}$ četnost 50 %. Kontrolovat geometrické tolerance obvodového a čelního házení četnost 5 %. Kontrolovat rádius R1,5 četnost 10 % Kontrolovat střední aritmetickou úchytku profilu Ra 1,6 μm četnost 1 %. Kontr. vnější plochu $\varnothing 24^{+0,075}_{+0,059}$ četnost 50 %.	M1 M3 M1 M5 M7 M2
40	Obrobna	3	Srazit hranu 45° . Kontrolovat sražení hrany četnost 10 %.	T6 M6
50	Montážní pracoviště		Vystružit předvrtanou díru na rozměr $\varnothing 18H7$ (po ustavení do sestavy).	T7

3.5 Výpočet výrobních časů stávajícího stavu výroby

V této podkapitole je proveden výpočet a vyhodnocení strojních a vedlejších časů potřebných na výrobu součásti při stávajícím stavu výroby.

3.5.1 Určení strojních časů

V tabulce 3.4 je návodka pro operaci 20. Tato návodka slouží pro lepší pochopení této operace a také pro podrobné určení strojních časů. Jelikož má tato operace největší vliv na celkovou spotřebu času, což potvrzuje graf na obrázku 3.5, tak bude kladen důraz zejména na tuto operaci. Pro ostatní operace nejsou vytvořeny podrobné výrobní návodky. V návodce je graficky zobrazen způsob obrábění jednotlivých operačních úseků a také jejich pořadí. Pro každý operační úsek jsou uvedeny řezné podmínky a strojní výrobní čas. Tyto řezné podmínky jsou získány přímo z programu na CNC soustružnickém centru z výroby.

V tabulce 3.4 je uvedena řezná rychlost pro jednotlivé operační úseky, a ta se vypočítá pomocí rovnice (3.11) [4].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.11)$$

Strojní čas pro podélné soustružení válcové plochy a pro vrtání se spočítá z rovnice (3.12) dle literatury [5].

$$t_{AS} = \frac{L_n \cdot i}{n \cdot f} = \frac{l_n + l_i + l_{pp}}{n \cdot f} \text{ [s]} \quad (3.12)$$

Strojní čas pro čelní soustružení válcové plochy při konstantních otáčkách se spočítá dle rovnice (3.13) dle literatury [9].

$$t_{AS} = \frac{(D_{max} + 2 \cdot l_n) - (D_{min} - 2 \cdot l_{pp})}{2 \cdot n \cdot f} \text{ [s]} \quad (3.13)$$

Vzorový výpočet

Zde je proveden vzorový výpočet strojního času a řezné rychlosti pro operační úsek hrubování 22-2 (číslo operačního úseku dle návodky v tabulce 3.4) pro operaci 20. Řezná rychlost se spočítá dle rovnice (3.11) a jelikož se jedná o soustružení válcové plochy je pro výpočet strojního času použita rovnice (3.12).

$n=1800 \text{ min}^{-1}$, $d=30 \text{ mm}$, $L_n=85 \text{ mm}$, $i=1$, $f=0,15 \text{ mm}$

$$v_c = \frac{\pi \cdot 30 \cdot 1800}{10^3} = 169,65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L_n \cdot i}{n \cdot f} = \frac{82 \cdot 1}{1800 \cdot 0,15} = 0,3037 \text{ min}$$

Tab. 3.4 Výrobní návodka pro operaci 20.

VÝROBNÍ NÁVODKA			Číslo návodky: 1						
FSI VUT v Brně, ÚST	Součást: Vedení ventilu	Datum: 1.5. 2019	Číslo operace: 20						
Pozice nástroje: T2, T3, T4, T5	Název operace: Soustružení, vrtání	Stroj: stroj 2							
		Pracoviště: obrobna							
Operační úsek číslo:	Úkon	Č. záběru	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	l [mm]	Pozice nástr.	t_{as} [min]
21	Zarovnání čela	1	180,96	1800	0,15	0,5	19	T2	0,0704
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	169,65	1800	0,15	1	82	T2	0,3037
		3	158,34	1800	0,15	1	66	T2	0,2444
		4	163,99	1800	0,15	0,5	15	T2	0,0555
		5	141,37	1800	0,15	1,5	66	T2	0,2444
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	6	150,80	2000	0,15	0,5	85	T2	0,2833
24	Vrtání	7	44,46	795	0,12	-	111	T3	1,1635
25	Vnitřní soustružení	8	36,71	650	0,12	0,1	84	T4	1,0769
26	Zapichování	9	120,63	1200	0,07	-	22	T5	0,2619

Další operace, přestože jsou prováděny taktéž na strojích a dají se u nich spočítat strojní časy, jsou zahrnuty do časů vedlejších. To je z důvodu, že jejich vliv na celkové náklady je minimální.

3.5.2 Určení vedlejších časů

V této podkapitole jsou vypočítány nutné vedlejší časy na výrobu součástí. Jsou zde rozebrány jednotlivé operace a vedlejší časy při nich vznikající. Aby bylo možné započítat i časy nutné k přípravě, to jsou například čas na seřízení stroje, přípravu nástrojů a další, byla určena i velikost série, ve které se tento díl obvykle vyrábí. Velikost série činí 1000 ks. Tento přípravný čas se poté rozpočítá do celé série.

Jednotlivé vedlejší časy jsou určeny přímým změřením z výroby nebo určeny z normativu. Časový normativ většinou obsahuje přímou spotřebu času přidělenou k přesně ohraničenému úseku operace a závislému na jednom nebo více činitelích. Například činitelem u upínání obrobku bude typ upínače, dále také hmotnost obrobku a další. Tyto normativy lze podle vzniku dělit na základní (prvotní) a odvozené (sdružené). Odvozené normativy vychází právě z těchto základních. Pro vytvoření základních normativů je potřeba mnoha zkoušek a měření, která se vztahují k jednotlivým úkonům, či pohybům. Při spojení těchto jednotlivých úkonů a pohybů vznikne sdružený normativ [9].

Pracovní náplň, která je popsána daným normativem má své organizační, technické a technologické podmínky konané práce. Proto pokud má být přidělený normativ reálný k reálnému podniku, je potřeba přesně charakterizovat pracovní podmínky výrobního procesu. Dále je potřeba brát zřetel zdali se jedná o kusovou, či sériovou výrobu [9].

Jelikož ve firmě není pro tento druh činností vytvořen normativ, je použit Normativ pro soustruhy s oběžným průměrem do 500 mm a 800 mm [18]. Z tohoto normativu lze určit mnoho úkonů jako například zapnutí a vypnutí stroje, upnutí obrobku a další. Úkony, které nebylo možné určit dle normativu, jsou určeny měřením času přímo z výroby.

Operace 10 je dělení materiálu. Tyčový materiál je dodáván v délce 3 m a je dělen přířezy o délce 1 m. Takto dlouhý přířez už se upíná do obráběcího stroje při další operaci. Z toho vyplývá, že když se doba potřebná k nadělení materiálu rozpočítá na jednici, bude mít relativně malý podíl na celkovém výrobním čase. Tento čas byl měřen přímo ve výrobě. Výrobní čas je počítán pro případ, kdy je materiál dělen po jedné tyči. To znamená, že se neupíná více tyčí zároveň. Sice by to uspořilo určitý čas, ale zvýšilo by to riziko poruchy při vyklouznutí upnuté tyče. Dalším důvodem je určitá časová rezerva vnesená do výpočtu, když se počítá s více časově náročnou variantou.

Operace 20 se skládá z větší části ze strojních časů, a to z důvodů automatizované výroby na CNC soustružnickém centru, který tyto vedlejší časy minimalizuje. Přesto je i v tomto případě mnoho úkonů, které se měří jako vedlejší časy. Například změna nástroje, rychloposuvy a další úkony. Tyto vedlejší časy, které vznikají při automatickém chodu stroje, jsou spočítány odečtem vypočítaných strojních časů od celkového času automatického chodu stroje. Tento čas byl změřen ve výrobě. Ostatní vedlejší časy, které nevznikají při automatizovaném chodu stroje, jsou taktéž přičteny k celkovým vedlejším časům při operaci 20.

Operace 30 je kontrolního charakteru. Přestože se při této operaci přímo nic nevyrábí, je to nezbytná část výrobního procesu. Při této operaci se posuzuje, zdali se při předešlých operacích dosáhlo požadovaného tvaru a povrchu součástí. Po tomto měření se následně rozhoduje o tom, jestli součást může pokračovat dále ve výrobě, či je nutná oprava, nebo dokonce musí být nehotová součást vyloučena z výroby. Časy přípravy a samotného měření jsou započítány do celkových vedlejších časů.

Pro získání údajů o vedlejších časech pro operaci 40 byl použit Normativ pro soustruhy s oběžným průměrem do 500 mm a 800 mm [18] a dále informace z výroby. Přestože se jedná o operaci na stroji a bylo by možné spočítat i strojní čas, bude i tento

čas zahrnut do vedlejších časů. Důvodem je relativně malý časový podíl v celkovém výrobním procesu.

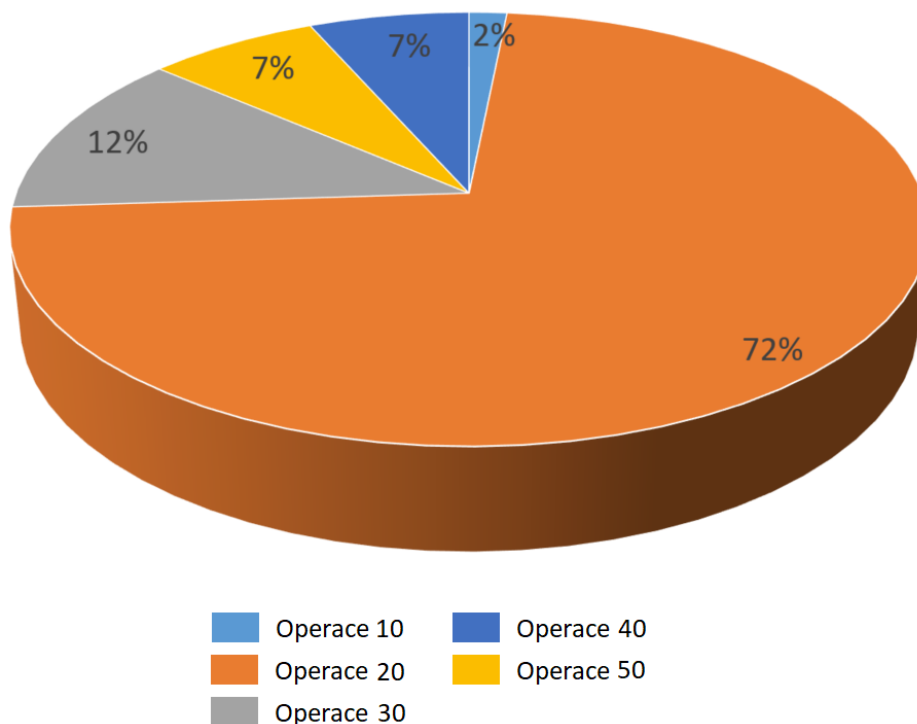
Poslední operace 50 probíhá už na montážní dílně. Jedná se o ruční operaci a čas potřebný k tomuto úkonu včetně příprav byl měřen ve výrobě.

3.5.3 Sumarizace strojních a vedlejších časů

V tabulce 3.5 je přehled strojních a vedlejších časů na výrobu 1 ks součásti pro jednotlivé operace a jejich celkový součet. Na obrázku 3.5 jsou pro přehlednost tyto časy ještě zobrazeny graficky.

Tab. 3.5 Sumarizace strojních a vedlejších časů.

Operace	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
10	-	0,0983
20	3,7040	0,8638
30	-	0,7773
40	-	0,4450
50	-	0,4166
celkem	3,7040	2,6010



Obrázek 3.5 Přehled spotřeby času jednotlivých operací.

3.5.4 Koeficient přiřázky směnového času

Při strojírenské výrobě dochází ke spotřebě času. Tyto časy se dají dále rozlišovat na časy nutné a časy zbytečné (ztrátové). Zbytečné časy jsou například časy při čekání na dodání materiálu, opravu stroje apod. Dále to může být zaviněno pozdním příchodem obsluhy stroje. Druhá skupina takzvaných nutných časů se skládá ze tří částí. To jsou časy jednotkové, dávkové a směnové. Spotřeba těchto časů je závislá na počtu zpracovaných jednotek zpracovaného množství (ks, kg, atd.) nebo dávek (počet kusů v sérii) nebo počtu směn [9].

Směnový čas pokrývá časy, jakou jsou například čas na převzetí pracoviště na počátku směny, služební rozhovory, úklid pracoviště a další. Dále do směnového času patří čas obecně nutných přestávek. Do toho se řadí například svačina, potřeba pracovníků a další [9]. Velikost těchto časů je určena 45 min.

Směnový čas lze k času jednotkovému připočítat prostřednictvím koeficientu přiřázky směnového času. Tento koeficient se spočítá dle rovnice (3.14). Následně se tímto koeficientem vynásobí jednotkový čas potřebný na výrobu součásti, viz rovnice (3.15) [9].

$$k_{cc} = \frac{T_s}{T_s - t_c} \quad [-] \quad (3.14)$$

$$t_{ASC} = (t_{AS} + t_{AV}) \cdot k_{cc} \quad [min] \quad (3.15)$$

V této diplomové práci je přiřázka směnového času připočítána až ve výsledné sumarizaci nákladů na jeden vyrobený kus. V jednotlivých nákladech operačních úseků se s touto přiřázkou nepočítá.

3.6 Technicko-ekonomické zhodnocení stávajícího stavu

V této podkapitole jsou popsány jednotlivé náklady na výrobu součásti stávajícího stavu výroby.

3.6.1 Náklady na použité nástroje a měřidla

V tabulce 3.6 jsou zpracovány náklady na nástroje a měřidla, které jsou použity pro výrobu součásti za stávajícího stavu výroby. Je zde uvedena pořizovací cena nástroje, což však není hodnota, která by odpovídala reálné ceně za nástroje na obrobení dané série. To je dáno tím, že každý nástroj má při daných výrobních podmínkách rozdílnou celkovou životnost. Respektive každým nástrojem je možné obrobit rozdílné množství kusů. Z toho vyplývá, že aby bylo možné určit náklady na nástroj na obrobení jednoho kusu, je nutné znát celkovou životnost nástroje při daných podmínkách. A dále je nutné spočítat, jak velkou část této životnosti se obrobením jednoho kusu odebere.

U Jednotlivých typů nástrojů je obtížnost stanovení životnosti rozdílná. Navíc v reálném případě se může stát, že nástroj se zdeformuje dříve, než byla teoreticky stanovená životnost při daných podmínkách. To může být způsobeno nesprávným zacházením nebo výrobní vadou nástroje. S touto skutečností nebude v této diplomové práci počítáno [4, 5].

Dále je nutné uvažovat, že některé typy nástrojů, například šroubovitě vrtáky, je možno po skončení trvanlivosti (otupení) přebrousit a vrták lze nadále používat. Je zapotřebí počítat s množstvím broušení, které při dané aplikaci je možno provést. Jelikož při broušení vrtáku se jeho délka zkracuje a například u vrtání hlubokých děr je potřeba spočítat, kolikrát se může vrtací nástroj brousit, aby měl stále dostatečnou délku na danou aplikaci. Je tedy nutné započítat náklady vzniklé broušením vrtáku do celkových výrobních nákladů [3].

U VBD je trvanlivost stanovena pro určité řezné podmínky výrobcem. Většina VBD má více ostří. Celková životnost VBD je pak součet trvanlivostí těchto ostří [4].

Složitější je určení životnosti u nožových držáků. Tato hodnota většinou nebývá výrobcem uvedena a lze jí získat experimentální cestou přímo ve firmě nebo externě u jiné firmy. Faktorů, které ovlivňují životnost, je velké množství a záleží na konkrétních podmínkách. Například kvalita upnutí ve stroji, používání předepsaných obslužných nástrojů k danému nástroji, náročnost obráběcích podmínek a následný vznik vibrací apod. Z toho vyplývá, že určit část životnosti, která bude obrobením jednoho kusu odebrána z celkové životnosti nožového držáku je poměrně obtížné. Na obrázku 3.6 je vyobrazen podíl nákladů na VBD a na držák břitové destičky při různých aplikacích. Jedná se pouze o příklad přímo nesouvisející s touto diplomovou prací. Lze ale vyzdvihnout, že podíl nákladů na VBD je několikanásobně větší. Z toho důvodu bude výhodnější při optimalizaci a hledání úspor se nejprve zaměřit na jiné faktory než na nožový držák [7].

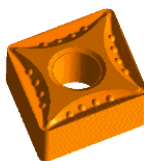
Pro účely této diplomové práce bude počítána životnost nožového držáku jako 500 opotřebování ostří upnuté VBD. Není to sice přesná hodnota, ale pro základní kalkulaci v případě, že nejsou jiné experimentální údaje, postačí.

Podíl nákladů na nástroj a VDSK

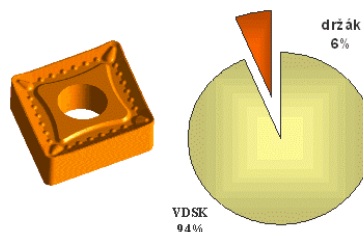
dokončování

(800 řezných hran na 1 držák)

- VDSK - CNMG 12....
- držák PCLNR 2525 M12



DORMER PRAMET



hrubování

(200 řezných hran na 1 držák)

- VDSK - CNMG 12....
- držák PCLNR 2525 M12

Obrázek 3.6 Podíl nákladů na VBD a na nožový držák [7].

Kromě operace 20, která se provádí na CNC soustružnickém centru, budou ceny za nástroje započítány do takzvané hodinové sazby za stroj, respektive za typ vykonávané práce, na kterou se taková sazba vztahuje. Tato sazba pokrývá například mzdu dělníka, provoz dílny, chod stroje, údržbové práce a další. U operací 10, 30, 40 a 50 jsou také používány nástroje, jejichž ceny na jeden obrobený kus by bylo možné vyčíslit. Ale v této diplomové práci nebude tento náklad konkrétně vyčíslen, ale bude zohledněn právě v dané sazbě za stroj.

Ceny za jednotlivé nástroje obsažené v tabulce 3.6 byly zjištěny od dodavatele nástrojů pro firmu. Přesto ceny nemusí odpovídat skutečnosti, ale cena je přibližná

a pro účely této práce je to dostačující. Konkrétní ceny za nástroje jsou obchodním tajemstvím firmy.

Náklady na nástroj a jeho výměnu se vypočítá dle rovnic (1.3, 1.4, 1.5).

Tab. 3.6 Přehled nákladů na použité nástroje pro stávající stav výroby [13, 19].

Nástroj	Označení nástroje	Stávající trvanlivost	Doba v záběru (celá série)	Celková cena nástroje	Cena nástroje na kus
[-]	[-]	[min]	[min]	[Kč]	[Kč]
T2	SVJCR 2020 K16-M-A	-	1194,3	2861,65	0,0382
	VBMT 160404E-FM	179,145		307,00	1,0233
T3	Vrták Precitool-GP	581,75	1163,5	4251,00	1,2870
T4	A12K-SDUCR 07	-	1076,9	2746,70	0,0366
	DCMT 070204E-FM	161,535		164,00	0,5467
T5	GFMR 2020 K0316	-	261,9	2860,00	0,0114
	LCMF 031604-M	130,95		512,00	0,5120

3.6.2 Náklady na materiál

Použitý materiál je zhodnocen v kapitole 2.3. Dodavatel materiálu je firma MetalCentrum, s.r.o. Jedná se o firmu, která se zabývá prodejem hutního materiálu a polotovarů [16]. Norma spotřeby materiálu N_m na jeden kus je vypočítána v kapitole 3.1. Cena materiálu na jeden kus C_m se spočítá dle rovnice (3.16).

Důležitým, ale často opomíjeným pozitivním nákladem je příjem z kovového odpadu, který může tvořit nezanedbatelnou část a je ho nutné zohlednit. Zejména u materiálů, které jsou nákladné na pořízení. U takto nákladných materiálů je velice důležité dodržovat správný postup recyklace, aby při zpětném výkupu nebyl odpadní materiál znehodnocen. To by znamenalo snížení jeho výkupní ceny. Základem takové recyklace je nutnost nesmíchat odpadní materiál s jiným druhem materiálu, dále je vhodné, aby z materiálu byla odstraněna procesní kapalina, pokud je při obráběcím procesu použita. Možností jak s odpadním materiálem nakládat je velké množství.

Cena výkupu odpadového daného materiálu lokálního kovošrotu je 82 Kč za kilogram [24]. Reálná cena, za kterou prodává daná firma svůj odpadní materiál, se může lišit, ale na celkové vyhodnocení nákladů tato diference nemá značný vliv.

Množství materiálu, které je po výrobním procesu možné následně prodat, jako odpadní materiál je vypočítáno v kapitole 3.1.4. V reálném provozu je zapotřebí počítat také s tím, že ne všechen kovový odpad, který vznikne při výrobě, se dokáže nasbírat a následně vytržiený prodat. Určitá část materiálu může být vyhozena jako nekovový odpad při úklidu pracoviště a stroje. Pro tuto práci budou takto vzniklé ztráty uvažovány ve velikosti 5 %.

$$N_{m1}=0,55565 \text{ kg}, C_{m/kg1}=262 \text{ Kč}, C_{modpad/kg}=82 \text{ Kč}, Z_{m1}=0,413653 \text{ kg}, Z_{mm}=0,05$$

$$C_m = N_m \cdot C_{m/kg} - C_{modpad/kg} \cdot Z_m \cdot (1 - z_{mm}) \text{ [Kč]} \quad (3.16)$$

$$C_m = 0,55565 \cdot 262 - 82 \cdot 0,413653 \cdot (1 - 0,05) = 113,3567 \text{ Kč}$$

3.6.3 Celkové náklady na jeden kus

V této podkapitole je provedena sumarizace výrobních nákladů spadající na jeden vyrobený kus. Tyto celkové náklady na jeden kus je možné vyjádřit pomocí rovnice (1.1). Jednotlivé operace jsou prováděny na odlišných pracovištích, které mají odlišné hodinové sazby. Tyto jednotlivé sazby jsou pro účel jednoduššího, ale hlavně rychlejšího výpočtu nákladů na výrobu součástí používány v praxi. Jednotlivé sazby vychází z dlouhodobého sledování a vyhodnocování provozních nákladů daného pracoviště, pořizovací hodnoty použitého stroje, kvalifikace pracovníka a jeho ohodnocení a z dalších možných faktorů.

V tabulce 3.7 jsou uvedeny sazby pro jednotlivé operace, které jsou při výrobě součásti provedeny. Jednotlivé sazby neodpovídají přesným hodnotám používaných v konkrétní firmě, jelikož to patří k obchodnímu tajemství firmy. Přesto poměr mezi jednotlivými hodnotami je podobný a uvedené sazby za jednotlivé typy práce, či stroje jsou reálné. Z toho vyplývá, že pro tuto práci plně dostačující.

Tab. 3.7 Přehled hodinových sazeb stroje a typu práce.

Operace	Pracoviště	Stroj	Hodinová sazba stroje [Kč]
10	Dělnírna	1	490
20	Obrobna	2	1200
30	Kontrol. pracoviště	-	540
40	Obrobna	3	690
50	Montážní pracoviště	-	490

Celkové náklady na jeden vyrobený kus se spočítají dle rovnice (1.1). Jednotlivé náklady obsažené v rovnici (1.1) se spočítají dle rovnic (1.2 – 1.6). Nejprve je nutné jednotlivé časy vynásobit koeficientem směnového času, který se spočítá dle rovnice (3.12).

$$T_s=480 \text{ min}, t_s=45 \text{ min}$$

$$k_{cc} = \frac{480}{480 - 45} = 1,10345$$

Výpočet nákladů na strojní práci dle rovnice (1.2).
 $k_{cc}=1,10345$, $t_{AS1}=3,7040 \text{ min}$, $N_{sn2}=1200 \text{ Kč}$

$$N_{s1} = 3,7040 \cdot 1,10345 \cdot \frac{1200}{60} = 81,74 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladů na nástroj a jeho výměnu vztažený na jeden obrobený kus N_n se vypočítá dle rovnic (1.3, 1.4, 1.5). Tyto vypočtené hodnoty nákladů na jeden kus jsou uvedeny v tabulce 3.6. Jejich součet činí 3,3452 Kč na jeden obrobený kus.

Další položkou jsou náklady na vedlejší práci N_v , které se vypočítají dle rovnice (1.6). Jelikož jednotlivé typy vedlejší práce mají rozdílné hodinové sazby, viz tabulka 3.7, musí se tato skutečnost zohlednit ve výpočtu.

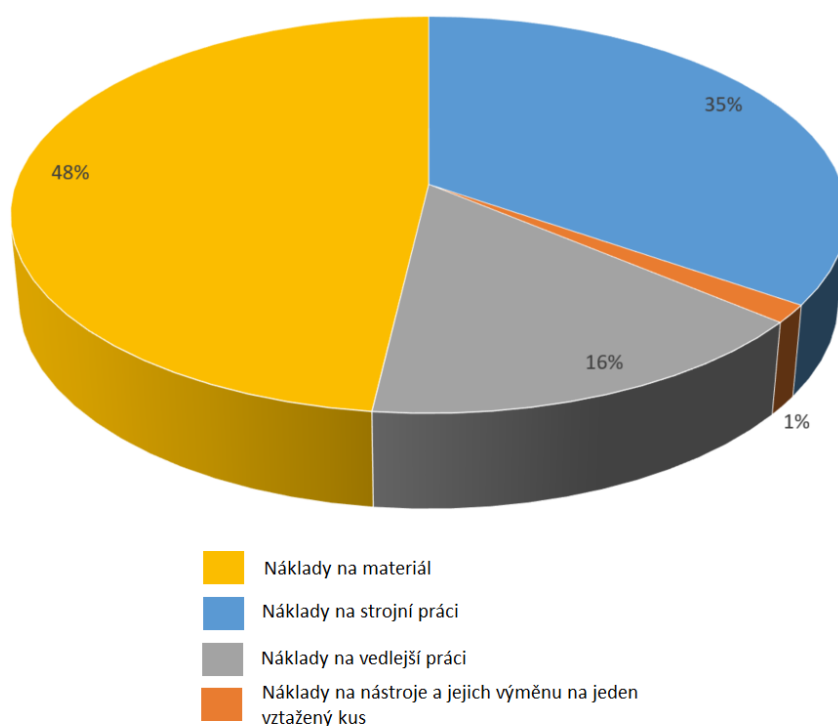
$t_{av1}=0,0983 \text{ min}$, $t_{av2}=0,8638 \text{ min}$, $t_{av3}=0,7773 \text{ min}$, $t_{av4}=0,4450 \text{ min}$, $t_{av5}=0,4166 \text{ min}$, $N_{sn1}=490 \text{ Kč}$, $N_{sn2}=1200 \text{ Kč}$, $N_{sn3}=540 \text{ Kč}$, $N_{sn4}=690 \text{ Kč}$, $N_{sn5}=490 \text{ Kč}$, $k_{cc}=1,10345$

$$N_{v1} = 1,10345 \cdot \left(0,0983 \cdot \frac{490}{60} + 0,8638 \cdot \frac{1200}{60} + 0,7773 \cdot \frac{540}{60} + 0,4450 \cdot \frac{690}{60} + 0,4166 \cdot \frac{490}{60} \right) = 37,0731 \text{ Kč}$$

Po dosazení jednotlivých dílčích nákladů do rovnice (1.1) a přičtení nákladů na materiál se získají celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti. Na obrázku 3.7 je graf zobrazující podíl jednotlivých typů nákladů na celkových nákladech na jeden vyrobený kus.

$N_{s1}=81,57 \text{ Kč}$, $N_{N1}=3,46 \text{ Kč}$, $N_{V1}= 37,07 \text{ Kč}$, $C_{m1}=113,36 \text{ Kč}$

$$N_{C1} = 81,74 + 3,46 + 37,07 + 113,36 = 235,63 \text{ Kč}$$



Obrázek 3.7 Podíl celkových nákladů na výrobu jednoho kusu součásti při stávajícím stavu výroby.

4 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ STÁVAJÍCÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

V této kapitole jsou provedeny jednotlivé návrhy, které vedou ke zlepšení stávající výrobní technologie. Samotná optimalizace řezných podmínek bude uskutečněna až pro nově navržený technologický postup. To je z důvodu, že ve stávající výrobní technologii jsou použity některé nástroje, které podle výrobce nejsou přímo určeny k obrábění materiálu součástí, viz kapitola 3.3. Z toho vyplývá, že by taková optimalizace nebyla účelná.

4.1 Volba polotovaru

Podle kapitoly 3.1, kde byl zhodnocen polotovar, který je použit u stávajícího stavu výroby, vyšel stupeň využití materiálu pouze 0,256. Jelikož cena použitého materiálu na kilogram je poměrně vysoká, ve srovnání s běžně zpracovávanými materiály ve firmě, tak by bylo vhodné použít takový polotovar, aby stupeň využití materiálu byl vyšší.

Dalším velice podstatným ukazatelem, že je polotovar potřeba obměnit je graf na obrázku 3.7. Je zřejmé, že náklady na materiál tvoří téměř 50 % veškerých výrobních nákladů. Z toho vyplývá, že lepší volba polotovaru by mohla přinést velké úspory při celkové kalkulaci.

Jako další možné polotovary byly uvažovány trubka kruhová a odlitek. Při dalším zvážení odlitku jako polotovar byla tato možnost zamítnuta. Další možný polotovar byla tedy trubka kruhová. Po prohlédnutí běžně nabízené nabídky dodavatele hutního materiálu pro firmu bylo zjištěno, že trubka kruhová se dodává v nejbližších rozměrech TR KR 27 x 5 a TR KR 33 x 7,5. [16]. Oba tyto rozměry trubky kruhové nejsou rozměrově vhodné pro výrobu součástí, viz příloha 1.

Proto byl dodavatel MetalCentrum, s.r.o v rámci této práce kontaktován s dotazem výroby trubky kruhové na míru. S důvodu množství materiálu, které firma odebírá od tohoto dodavatele, byla nabídnuta trubka o rozměrech TR KR 32 x 7,5, která není v běžné nabídce. S touto trubkou kruhovou bude tedy i dále počítáno.

S dodavatelem materiálu se ještě řeší úprava rozměru na TR KR 30 x 6,5. Podle ČSN EN 12163 by mezní úchytky polotovaru umožnily dodržení největšího průměru součásti 30^{-0,35} mm, viz příloha 1. Tímto zmenšením vnějšího průměru polotovaru by se ještě snížila spotřeba materiálu. Přesto v rámci této práce bude uvažován rozměr polotovaru TR KR 32x7,5 z důvodu, že tento polotovar je k dostání se známou cenou a dodacími podmínkami.

4.1.1 Hodnocení nově zvoleného polotovaru

První část hodnocení zvoleného alternativního polotovaru je podle stupně využití materiálu. Postup výpočtu je obdobný jako v kapitole 3.1. Pomocí stupně využití materiálu je možné porovnat jednotlivé polotovary. Přesto to není absolutně vypovídající o celkové výhodnosti daného polotovaru. Operace 10 zůstává stejná jako ve stávajícím postupu, proto některé vypočtené hodnoty jsou převzaty z výpočtu v kapitole 3.1.

$l_{pol}=83 \text{ mm}$, $a=2$, $d_{pol1}=32 \text{ mm}$, $d_{pol2}=17 \text{ mm}$, $\rho_{mat}=7600 \text{ kg/m}^3$, $s=0,9 \text{ mm}$, $m_{kg}=0,142$, $n_t=33 \text{ ks}$

$$q_{u2} = \frac{2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,017^2}{4} \right) \cdot 7600 \cdot 0,0009}{33} = 1,4521 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

$$q_{k2} = \frac{0,2592 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,017^2}{4} \right) \cdot 7600}{33} = 0,034460 \text{ kg}$$

$$m_{p2} = 0,083 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,017^2}{4} \right) \cdot 7600 = 0,36414 \text{ kg}$$

$$q_{02} = m_{p2} - m = 0,36414 - 0,142 = 0,22214 \text{ kg}$$

$$Z_{m2} = 1,4521 \cdot 10^{-4} + 0,03446 + 0,22214 = 0,25675 \text{ kg}$$

$$N_{m2} = 0,142 + 0,25675 = 0,3987 \text{ kg}$$

$$k_{m2} = \frac{0,142}{0,3989} = 0,356$$

4.1.2 Náklady na materiál při použití nově zvoleného polotovaru

Z výpočtu, viz výše, vyplývá, že změnou polotovaru se stupeň využití materiálu zvýšil. Ale aby bylo možné lépe posoudit výhodnost nově použitého polotovaru, je potřeba spočítat náklady na materiál s tímto novým polotovarem. Výpočet nákladů na materiál je proveden podle výpočtu v kapitole 3.6.2.

$N_{m2}=0,3987 \text{ kg}$, $C_{m/kg2}=269 \text{ Kč}$, $C_{modpad/kg}=82 \text{ Kč}$, $Z_{m2}=0,25675 \text{ kg}$, $z_{mm}=0,05$

$$C_{m2} = 0,3987 \cdot 269 - 82 \cdot 0,25675 \cdot (1 - 0,05) = 87,2495 \text{ Kč}$$

Z výpočtu stupně využití materiálu a také z výpočtu nákladů na materiál je zřejmé, že nově navržený polotovar je výhodnější, nežli původně použitý. Náklady na materiál není jediná úspora, kterou nový polotovar přináší. V následujících podkapitolách je navržen nový technologický postup a zde je názorně vidět úspora výrobního času, který byl původně potřeba na vrtání díry, kterou nový polotovar již má.

4.2 Výrobní strojní zařízení

Strojní výrobní zařízení zůstávají stejná i pro nový návrh zlepšení výrobní technologie. Respektive operace 40 v původním výrobním postupu je odstraněna a tudíž i stroj, na kterém byla prováděna, není potřeba. Z toho plyne, že v nově navržené výrobní technologii je stále potřeba gravitační pásová pila Pegas 230 x 280 GH-LR a hlavně CNC soustružnické centrum DOOSAN Lynx 220LYC. Tyto výrobní zařízení jsou blíže popsány v kapitole 3.2.


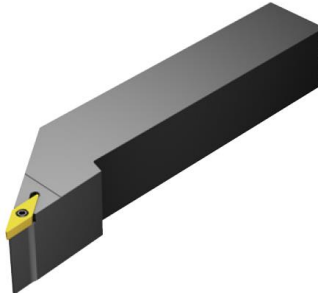

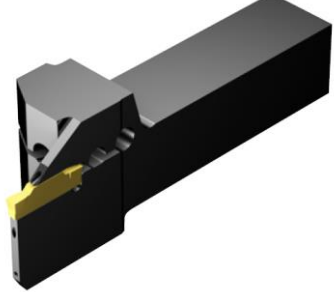

4.3 Nástroje a měřidla použita v nově navrženém technol. postupu

V této podkapitole jsou popsány jednotlivé nástroje, které jsou použity v nově navrženém technologickém postupu. Některé nástroje, které jsou použity ve stávající výrobě, byly zanechány i do nově navržené. V kapitole 3.3 jsou popsány nástroje použity ve stávající výrobě. Dále je zhodnocena jejich vhodnost pro daný materiál a

aplikaci. Mnoho nástrojů bylo posouzeno jako nevhodné a z toho plyne potřeba je v nově navrženém technologickém postupu nahradit.

V tabulce 4.1 jsou uvedeny nástroje pro nově navržený technologický postup výroby. Pro přehlednost bude v nově navrženém výrobním postupu zaměněno označování T1-Tn za P1-Pn, kde n je počet nástrojů v daném technologickém postupu. Použitá měřidla zůstala stejná tudíž i označování se nezměnilo. Výstružník ruční Ø18H7 označený ve stávajícím technologickém postupu jako T7 zůstal i v nově navrženém technologickém postupu. Jeho označení je však nově P6.

Tab. 4.1 Přehled zvolených nástrojů pro nově navržený technologický postup [12, 25].

Označ	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	Obrázek
P1	Pilový pás	BOMAR, spol. s r.o.	2720x27x0,9 M42 6/10z	
P2	Nožový držák pro vnější soustružení	Sandvik cz s.r.o.	SVJBR 2525M 16	
	VBD pro vnější soustružení	Sandvik cz s.r.o.	VCGX 16 04 08-AL H10	
P3	Nožový držák vnitřní soustružení pro	Sandvik cz s.r.o.	F10M-SDUCR 07-ER	
	VBD pro vnitřní soustružení	Sandvik cz s.r.o.	DCGX 07 02 04-AL H10	
P4	Nožový držák upichovací a zapichovací	Sandvik cz s.r.o.	QS-RF123G15 C2020E	
	VBD upichovací a zapichovací	Sandvik cz s.r.o.	N123G2-0300-0002-CM 1125	
P5	Výstružník ruční Ø 18H7	M&V, spol. s r.o., divize STIMZET	Výstružník 18H7 ČSN 221420	

P2 – Nožový držák a VBD pro vnější soustružení

Pro soustružení vnějších ploch je zvolen nožový držák SVJBR 2525M 16 od firmy Sandvik, který v ČR zastupuje firma Sandvik cz s.r.o. V příloze 2 jsou uvedeny technické parametry nožového držáku.

Vyměnitelná břitová destička byla zvolena od stejného výrobce jako nožový držák a její označení je VCGX 16 04 04-AL H10. Je vhodná k obrábění skupin materiálu N a S. Technické parametry jsou opět v příloze 2 [25].

P3 – Nožový držák a VBD pro vnitřní soustružení

Při použití polotovaru trubky kruhové v tomto případě odpadá nutnost předvrtání otvoru pro následné vyvrtávání. Přesto však je nutné před samotným zhotovením díry Ø18H7 připravit přídavek na vystružení. Pro tento úkon byl zvolen nástroj od firmy Sandvik cz s.r.o. Označení nožového držáku je F10M-SDUCR 07-ER a výrobce ho nazývá jako tlumená karbidová vyvrtávací tyč CoroTurn 107. Vyměnitelná břitová destička byla zvolena DCGX 07 02 02-AL H10 také od firmy Sandvik cz s.r.o. V příloze 2 jsou technické parametry nožového držáku a VBD. VBD je vhodná k obrábění zejména skupin materiálů N a S [25].

P4 – Nožový držák a VBD pro upichování a zapichování

Ve stávajícím výrobním postupu byl nástroj T5, popsáný v kapitole 3.3 vyhodnocen jako nevhodný pro danou materiálovou skupinu, ze které je součást zhotovena. Proto pro upíchnutí součásti a dokončení rádia R1,5, viz příloha 1, je použit nástroj od firmy Sandvik cz s.r.o.

Jedná se o nožový držák CoroCut 1-2 QS pro upichování a zapichování. Označení výrobce je QS-RF123G15C2020E. VBD je zvolena od stejného výrobce jako nožový držák. Výrobce VBD značí N123G2-0300-0002-CM. Jedná se o VBD vhodnou pro obrábění více skupin materiálu, do kterých patří i materiál součásti. Parametry nástroje jsou v příloze 2. V tabulce 5.1 je nástroj vyobrazen [25].

4.4 Návrh nového technologického postupu

V této podkapitole je vytvořen nový technologický postup součásti, viz tabulka 4.2. Některé operace zůstávají stejné jako ve stávající výrobě. Hlavní změna nastala u operace 20, která má při stávajícím stavu výroby největší podíl spotřeby časů z celého výrobního procesu. To dokládá obrázek 3.5, který tento podíl vyobrazuje. Dále úkon v operaci 40 byl zahrnut do operace 20. To bylo možné díky změně způsobu obrábění obrobku, což je znázorněno v návodce v tabulce 4.3. Obrobek se obrábí z druhé strany, než tomu bylo ve stávající výrobě. Tím je možné úkon prováděný v operaci 40 provést v operaci 20 bez potřeby znovu upínání obrobku. Tím se uspoří výrobní čas a potřeba dalšího stroje, jako ve stávajícím výrobním postupu.

Tab. 4.2 Nově navržený technologický postup.

FSI VUT v Brně, ÚST			TECHNOLOGICKÝ POSTUP	
Název součásti		Materiál	Polotovár	Čistá hmotnost
Vedení ventilu		CW307G	TR KR 32 x 7,5 - 83	0,142 kg
Op	Pracoviště	Stroj	Popis práce	Nástroje Měřidla
10	Dělrna materiál u	1	Dělit materiál $\varnothing 32$, na délku 1000 ± 2 . Kontrolovat délku četnost 100 %.	P1 M4
20	Obrobn a	2	Vysunout na délku 95, upnout do sklíčidla. Zarovnat čelo. Hrubovat obvodový vnější tvar s přídávkem $0,5^{+0,2}$. Soustružit na čisto obvodový vnější tvar. Vyvrát díru $\varnothing 18 \pm 0,02/79^{+1}$. Dokončit $R1,5^{-0,5}$. Upíchnout na délku $79^{+0,5}$.	P2 P2 P2 P3 P4 P4
30	Pracoviště kontroly		Kontrolovat všechny rozměry četnost 20 %. Kontrolovat díru $\varnothing 18^{+0,02}$ četnost 50 %. Kontrolovat geometrické tolerance obvodové a čelní házení četnost 5 %. Kontrolovat rádius $R1,5$ četnost 10 % Kontrolovat střední aritmetickou úchylku profilu $Ra 1,6 \mu m$ četnost 1 %. Kontrolovat sražení hran četnost 10 %. Kontr. vnější plochu $\varnothing 24^{+0,075}_{+0,059}$ četnost 50 %.	M1 M3 M1 M5 M7 M6 M2
40	Montážní pracoviště		Vystružit předvrtanou díru na rozměr $\varnothing 18H7$ (po ustavení do sestavy).	P5

4.5 Výpočet výrobních časů nově navržené výroby

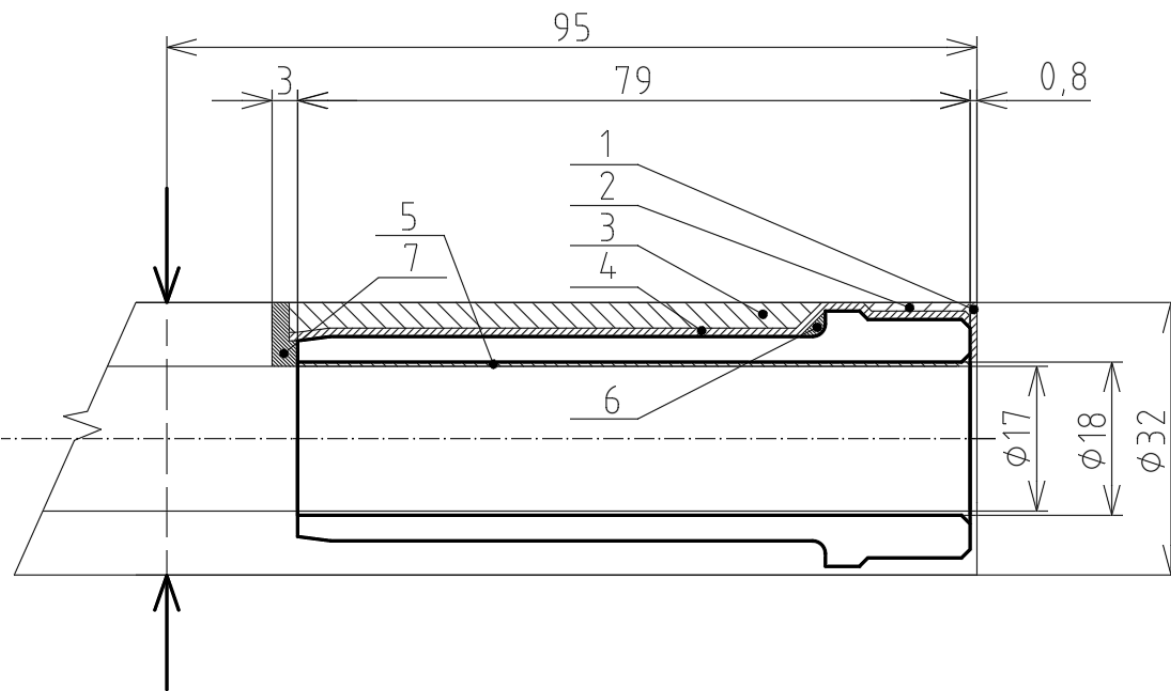
V této podkapitole jsou stanoveny celkové výrobní časy pro jednotlivé operace. Tyto časy se skládají z časů strojních a vedlejších. Dále je zde zahrnut i čas směnový, který je zohledněn pomocí koeficientu přírážky směnového času. Způsob jakým jsou jednotlivé časy vypočítané, či určené je vysvětlen v kapitole 3.5. Postup výpočtu je analogický.

4.5.1 Určení strojních časů

V tabulce 4.3 je výrobní návodka opět pro operaci 20. Návodka obsahuje graficky vyobrazené jednotlivé operační úseky, dále řezné podmínky a strojní časy stejně jako v kapitole 3.5.1. Pracovní podmínky jsou voleny podle doporučení výrobce, a to s přihlédnutím na obráběný materiál.

Tab. 4.3 Výrobní návodka pro operaci 20 nově navrženého postupu.

VÝROBNÍ NÁVODKA			Číslo návodky:1	
FSI VUT v Brně, ÚST	Součást: Vedení ventilu	Datum: 1.5. 2019	Číslo operace: 20	
Pozice nástroje: P1, P2, P3, P4	Název operace: Soustružení, vrtání	Stroj: stroj 2		
		Pracoviště: obrobna		



Operační úsek číslo:	Úkon	Č. záběru	v_c	n	f	a_p	l	Pozice nástr.	t_{as}
			[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]		[min]
21	Zarovnání čela	1	205	3134,73	0,2	0,8	10,5	P2	0,02052
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	247	2620,75	0,25	1	17	P2	0,02595
		3	247	3023,94	0,25	3	68	P2	0,08995
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	226	2855,36	0,15	1	84,5	P2	0,19572
24	Vnitřní soustružení	5	215	3802,03	0,111	0,5	84	P3	0,19904
25	Dokončení radia R1,5	6	206	2239,29	0,125	-	6	P4	0,01952
26	Zapichování	7	206	2800,00	0,125	-	10,5	P4	0,03266

U operačního úseku 21, viz tabulka 5.3, je uvažována řezná rychlost jako konstantní. To znamená, že otáčky vřetena se při posuvu řezného nástroje směrem k ose rotace musí zvyšovat. Stejně tak u operačního úseku 25 a 26, kde nástroj koná obdobný způsob pohybu a řezná rychlost je také konstantní. Hodnoty otáček v tabulce 4.3 jsou pro tyto operační úseky uvedeny jako střední. Pro tento způsob obrábění se musí rovnice pro výpočet strojního času změnit a nelze postupovat podle rovnic (3.10, 3.11).

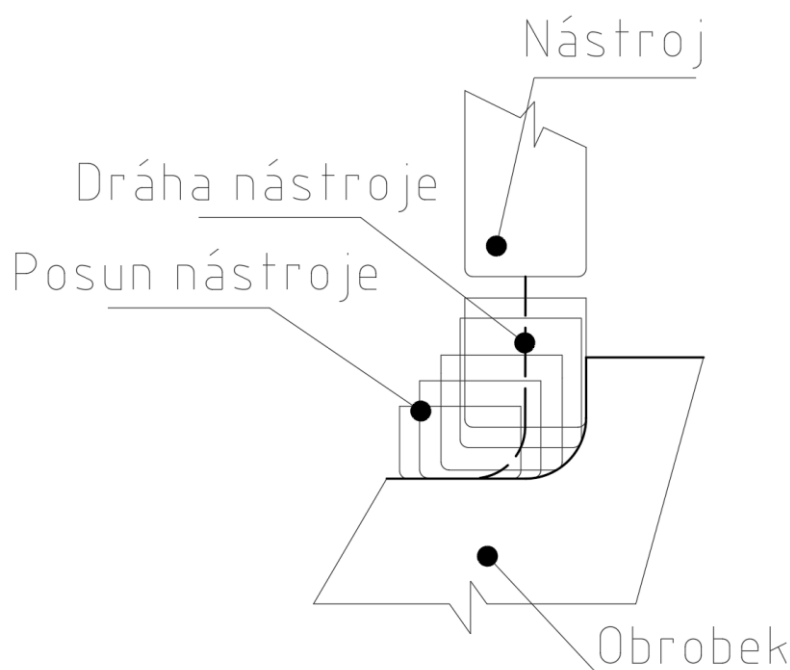
Strojní čas při čelním soustružení a konstantní řezné rychlosti se spočítá podle rovnice (5.1). Kde L_s je dráha nástroje, která při čelním soustružení tvoří spirálu se stoupáním f . Délka této spirály se spočítá podle vztahu (5.2). Po dosazení vztahu (5.2) do rovnice (5.1) lze strojní čas vypočítat dle rovnice (5.3). Výpočet je proveden podle literatury [26].

$$t_{AS} = \frac{L_s}{10^3 \cdot v_c} \text{ [min]} \quad (5.1)$$

$$L_s = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)}{4 \cdot f} \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)}{4 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c} \text{ [min]} \quad (5.3)$$

V operačním úseku 25 je prováděn úkon dokončení rádiusu pomocí nástroje P4. Kvůli přehlednosti je na obrázku 4.1 proveden detail dráhy nástroje při tomto operačním úseku. Lze vidět, že nástroj tvořící rádius R1,5 nekoná pouze pohyb směrem do středu k ose obrobku, ale koná pohyb složený po křivce, tak aby vytvořil předepsaný rádius. Tato křivka je popsána na obrázku 4.1 jako dráha nástroje.



Obrázek 4.1 Detail operačního úseku 25 nově navržené technologie výroby.

4.5.2 Určení vedlejších časů

Výpočet vedlejších časů jednotlivých operací je obdobný jako v kapitole 3.5.2. Operace 10, 30, 40 v nově navrženém postupu zůstaly nezměněné od stávající výroby. Tudiž i výrobní časy se u těchto operací nezměnily. Původní operace 40, kde se srazila hrana 45°, viz stávající technologický postup v tabulce 3.3, byla zrušena a tento operační úkon byl zahrnut do operace 20. Touto změnou se sníží jak výrobní čas, tak nutnost použití dalšího stroje a nástroje.

Výrazná změna nastala pouze v operaci 20, kde jsou zvoleny jiné nástroje a celkově jsou operační úseky jinak postaveny. Vedlejší časy za chodu stroje se ale u nově navrženého technologického postupu u operace 20 počítají jinak. Původně byly vedlejší časy za chodu stroje odečteny z celkového času automatického chodu stroje. V nově navrženém technologickém postupu jsou tyto časy vypočítány přímo. K tomu je potřeba znát rychlosti rychloposuvu a vzdálenost posuvu jednotlivých os. Tyto informace jsou uvedeny v technických parametrech stroje v tabulce 3.1. V příloze 3 jsou uvedeny podrobné schémata pracovní části CNC soustružnického centra DOOSAN Lynx 220LYC, podle kterých lze podrobně spočítat dráhu jednotlivých posuvů při operaci 20.

Ostatní vedlejší časy, které vznikají při operaci 20, jsou určeny stejně jako ve stávajícím technologickém postupu. Do těchto časů se řadí například upnutí obrobku, tvorba programu a další.

4.5.3 Sumarizace strojních a vedlejších časů

V tabulce 4.4 je přehled výrobních časů jednotlivých operací nově navrženého technologického postupu.

Tab. 4.4 Sumarizace strojních a vedlejších časů.

Operace	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
10	-	0,0983
20	0,5834	0,6638
30	-	0,7773
40	-	0,4166
celkem	0,5834	1,9560

4.6 Technicko-ekonomické zhodnocení

Postup výpočtu celkových nákladů na výrobu jednoho kusu součásti je obdobný jako v kapitole 3.6.

4.6.1 Náklady na použité nástroje a měřidla

V tabulce 4.5 jsou uvedeny pořizovací náklady nástrojů použitých v nově navrženém technologickém postupu. Dále je zde uvedena stávající trvanlivost nástroje odpovídající rezným podmínkám uvedených v návodce v tabulce 4.3. Posledním údajem v tabulce 4.5 je doba v záběru daného nástroje pro celou sérii. Ceny nástrojů byly zjištěny přímo u dodavatele Sandvik CZ s.r.o. Uvedené ceny jsou bez jakýchkoliv slev a podle informací prodejce mají jednotliví odběratelé určitý rozsah slev na všechny nástroje podle odebíraného množství. V této práci, ale bude počítáno s cenou bez slev, což poskytuje určitou rezervu ve výpočtu o výhodnosti nově navrženého technologického postupu.

Jak bylo popsáno v kapitole 3.6.1 tak u jednotlivých nástrojů se určuje životnost odlišně. V nově navrženém technologickém postupu jsou použity pouze nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Takže odpadá možnost přebrušování, jak tomu je například u vrtáků apod.

Postup stanovení životností nožových držáků a vyměnitelných břitových destiček je stejný jako v kapitole 3.6.1. To znamená, že životnost nožového držáku je 500

opotřebení, resp. trvanlivostí ostří upnuté VBD. Živonost VBD je pak součet jejich trvanlivostí, to znamená že záleží na počtu ostří VBD.

Kromě operace 20, která je realizována na CNC soustružnickém centru, budou ceny za nástroje započítány do takzvané hodinové sazby za stroj, stejně jako ve výpočtu nákladů stávajícího stavu výroby. Náklady na nástroj a jeho výměnu se vypočítají dle rovnic (1.3, 1.4, 1.5).

Tab. 4.5 Přehled nákladů na nástroje nově navrženého technologického postupu [25].

Nástroj	Označení nástroje	Stávající trvanlivost	Doba v záběru (celá série)	Celková cena nástroje	Cena nástroje na kus
[-]	[-]	[min]	[min]	[Kč]	[Kč]
P2	SVJBR 2525M 16	-	332,14	3160,00	4,3099
	VCGX 16 04 08-AL H10	16,29		407,00	
P3	F10M-SDUCR 07-ER	-	199,04	12170,00	1,9777
	DCGX 07 02 02-AL H10	18,40		317,00	
P4	QS-RF123G15C2020E	-	52,18	6990,00	0,5983
	N123G2-0300-0002-CM	30,47		670,00	

4.6.2 Náklady na materiál

Nově navržený polotovár je zhodnocen v podkapitole 4.1.1 a následně vypočítány náklady na materiál na jeden kus v kapitole 4.1.2. Tyto náklady C_m činí 87,25 Kč.

4.6.3 Celkové náklady na jeden kus

Výpočet celkových nákladů je opět stejný jako v kapitole 3.6.3. Tyto celkové náklady jsou velice důležitým ukazatelem výhodnosti daného postupu a budou dále použity při samotné optimalizaci.

Celkové náklady se vyjádří pomocí rovnice (1.1). V tabulce 3.5 jsou poté uvedeny hodinové sazby jednotlivých typů práce a strojů.

Hodnota koeficientu směnového času k_{cc} zůstala stejná jako ve výpočtu v kapitole 3.6.3 $k_{cc} = 1,10345$. Tento výpočet byl proveden dle rovnice (3.12).

Výpočet nákladů na strojní práci dle rovnice (1.2).

$k_{cc}=1,10345$, $t_{AS2}=0,5834$ min, $N_{sn2}=1200$ Kč

$$N_{s2} = 0,5834 \cdot 1,10345 \cdot \frac{1200}{60} = 12,88 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladů na nástroj a jeho výměnu vztažené na jeden obrobený kus N_N se vypočítá dle rovnic (1.3, 1.4, 1.5). V tabulce 5.1 jsou tyto vypočtené hodnoty uvedeny. Součet těchto hodnot činí 8,21 Kč na jeden kus. Náklady na vedlejší práci N_V se vypočítají opět dle rovnice (1.6). Jednotlivé sazby jsou uvedeny v tabulce 3.5.

$t_{av1}=0,0983$ min, $t_{av2}=0,6638$ min, $t_{av3}=0,7773$ min, $t_{av4}=0,4166$ min, $N_{sn1}=490$ Kč, $N_{sn2}=1200$ Kč, $N_{sn3}=540$ Kč, $N_{sn4}=490$ Kč, $k_{cc}=1,10345$

$$N_{V2} = 1,10345 \cdot \left(0,0983 \cdot \frac{490}{60} + 0,6638 \cdot \frac{1200}{60} + 0,7773 \cdot \frac{540}{60} + 0,4166 \cdot \frac{490}{60} \right) =$$
$$= 27,01 \text{ Kč}$$

Po dosazení jednotlivých dílčích nákladů do rovnice (1.1) a přičtení nákladů na materiál se získají celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti.

$N_{s2}=12,88$ Kč, $N_{N2}=8,21$ Kč, $N_{V2}= 27,01$ Kč, $C_{m2}=87,25$ Kč

$$N_{C2} = 12,88 + 8,21 + 27,01 + 87,25 = 135,35 \text{ Kč}$$

5 OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK

V kapitole 3 je popsán stávající stav výroby. Nejprve je zhodnocen použitý polotovar, což je následně uplatněno při výpočtu nákladů za materiál. Následně jsou uvedeny parametry výrobního zařízení, na kterých se výrobní proces uskutečňuje. Tyto parametry jsou dále potřebné při stanovení některých omezujících podmínek, viz kapitola 1.2. Dalším nezbytným krokem je popis nástrojů a měřidel, kterými se výroba součásti provádí. Parametry jednotlivých nástrojů jsou taktéž velice důležitým faktorem, podle kterého se stanovují optimální výrobní podmínky. V následující kapitole 3.4 je vypsán výrobní postup součásti, podle kterého probíhá stávající výroba.

Nedílnou součástí popisu stávajícího stavu je zjistit konkrétní řezné podmínky obráběcího procesu. Tyto řezné podmínky jsou uvedeny v podkapitole 3.5.1, ve které je výrobní návodka pro operaci 20, sloužící právě k vizualizaci prováděné operace. Jsou zde podrobně rozepsány jednotlivé operační úseky a také jejich řezné podmínky. Z těchto řezných podmínek a délky drah jednotlivých záběrů je spočítán strojní čas. V kapitole 3.5 je určen celkový výrobní čas, který dále slouží pro určení nákladů na výrobu součásti.

V kapitole 3.6 je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení stávajícího stavu výroby. Jsou zde vyčísleny náklady na použité nástroje, materiál a náklady na strojní a vedlejší práci. To vše je vyčísleno na jeden vyráběný kus.

Při popisu stávajícího stavu výroby bylo zjištěno několik věcí, které by bylo možné upravit tak, aby se celkové náklady snížily. Byl poptán nový polotovar, který původně nebyl pro firmu k dostání. Díky většímu množství odebíraného množství daného materiálu od dodavatele, byl dodavatel ochotný dodat materiál s rozměry běžně nenabízenými. Tato změna polotovaru měla však velmi významný vliv na celý výrobní postup dané součásti, viz kapitola 4.1. Nastala velká úspora jak v nákladech za materiál, tak v operaci 20, kde změna polotovaru zrušila operační úsek 24 vrtání, viz tabulka 3.4.

Jak lze vidět z obrázku 3.5 v podkapitole 3.5.3, tak největší spotřebu času ve stávající výrobě zabírá operace 20. Proto při navrhování nového technologického postupu bylo přihlášeno zejména na tuto operaci. Z kapitoly 3.3 lze vyvodit, že většina nástrojů ve stávající výrobě není zvolena správně, resp. nástroje nejsou určeny pro obrábění materiálu součásti. Z toho vyplývá, že pouze optimalizace řezných podmínek není dostačující pro celkové zlepšení výrobního postupu. Proto bude prováděna optimalizace až nově navrženého technologického postupu a pouze operace 20.

5.1 Shrnutí pracovních podmínek nově navržené operace 20

Prvním krokem, optimalizace řezných podmínek je získat potřebné informace o stavu výroby. Veškeré tyto informace jsou podrobně rozebrány v kapitolách 2, 3, 4. V této podkapitole budou tyto potřebné informace kvůli přehlednosti znovu shrnuty a dále z nich bude vycházeno při samotné optimalizaci řezných podmínek.

V tabulce 5.1 jsou rozepsány náklady jednotlivých operačních úseků operace 20. Při výpočtu se vychází z rovnice (1.1), která je ale upravena. Úprava spočívá v zanedbání vedlejších časů pro jednotlivé operační a to z toho důvodu, že vedlejší časy jsou konstantní při změně řezné rychlosti, tudíž do optimalizace nevstupují. Do celkových nákladů pak samozřejmě přičteny budou. Z toho vyplývá, že suma celkových nákladů jednotlivých operačních úseků z tabulky 5.1, neodpovídá skutečným celkovým nákladům, a to právě kvůli absenci nákladů za vedlejší časy.

Dále v tuto chvíli není připočítán směnový čas, který by výrobní časy zvýšil. Ten bude přičten, až při celkové sumarizaci optimalizovaného nově navrženého výrobního postupu.

Tab. 5.1 Přehled dílčích nákladů operace 20 nově navržené výroby.

Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	t_{AS} [min]	N_S [Kč]	N_N [Kč]	N_{vm} [Kč]	N_C [Kč]
21	Zarovnání čela	1	P2	0,02052	0,4104	0,2160	0,0412	0,6675
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	0,02595	0,5190	0,3733	0,0712	0,9635
		3	P2	0,08995	1,7990	1,2942	0,2467	3,3399
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	0,19572	3,9144	2,4264	0,4626	6,8034
24	Vnitřní soustružení	5	P3	0,19904	3,9808	1,9777	0,4327	6,3912
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	0,01952	0,3904	0,2236	0,0256	0,6396
26	Zapichování	7	P4	0,03266	0,6533	0,3747	0,0429	1,0709

5.2 Stanovení $T - v_c$ závislosti

Pro optimalizaci řezných podmínek je nezbytné znát tzv. $T - v_c$ závislost. Postup, jakým způsobem tuto závislost stanovit, je popsán v kapitole 1.4.

Jelikož v rámci této diplomové práce se neprováděla zkouška na stanovení trvanlivosti nástroje v závislosti na řezné rychlosti, bylo nutné tyto hodnoty stanovit jinak. Ze stránek dodavatele použitých nástrojů Sandvik cz s.r.o. byly použity údaje o trvanlivosti daného nástroje při obrábění materiálu obrobku v závislosti na řezné rychlosti. Přesnost těchto převzatých hodnot nemusí odpovídat reálnému stavu. Jsou to ideální podmínky, které v reálném provozu závisí na mnoha aspektech, které tyto ideální podmínky nezohledňují.

Přesto takto provedená optimalizace obráběcího procesu, lze považovat za vypovídající. Ale vyžadující následné ověření v reálném provozu a případné mírné poupravení některých faktorů vstupujících do obráběcího procesu. Z výše uvedeného vyplývá, že optimalizace v této diplomové práci je provedena pro ideální podmínky a se zanedbáním určitých vlivů.

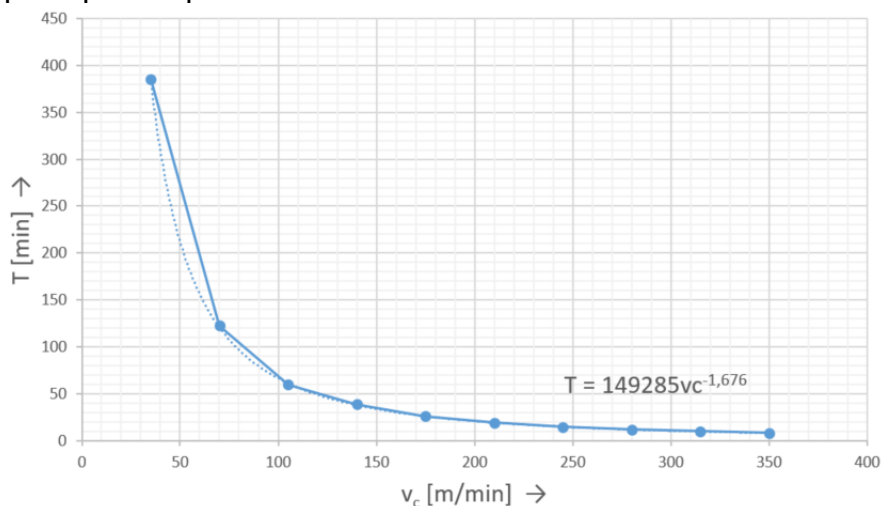
V tabulce 5.2 jsou hodnoty trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti při obrábění materiálu obrobku pro nástroje P2, P3 a P4. Pro nástroje P2 a P3 vycházela $T - v_c$ závislost stejně podle údajů od výrobce. V této práci tedy bude uvažována stejná $T - v_c$ závislost pro oba tyto nástroje. Pro nástroj P4 se $T - v_c$ závislost liší.

Jak už bylo výše napsáno, zkoušky ze kterých vychází $T - v_c$ závislost by měly být za konstantních podmínek. V této práci je použita stejná $T - v_c$ závislost pro různé posuvy i šířku záběru ostří. Z toho vyplývá vznik větší, či menší odchylky od reálného stavu. Proto uvedená závislost je v této práci brána jako střední a vypočtené hodnoty pouze jako orientační, nezohledňující mnoho aspektů.

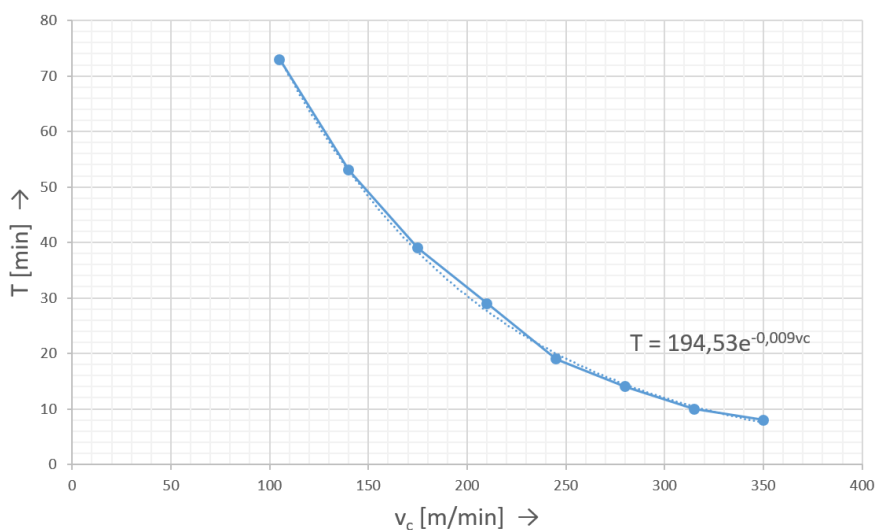
Tab. 5.2 Hodnoty $T - v_c$ závislost od firmy Sandvik cz s.r.o. [25].

Nástroje:		P2, P3	P4	P2, P3	P4
v_c [m/min]	$\log v_c$ [m/min]	T [min]	T [min]	$\log T$ [min]	$\log T$ [min]
35	1,54406	385	-	2,58546	-
70	1,84509	122,5	-	2,08813	-
105	2,02118	59,5	73	1,77451	1,86332
140	2,14612	38,5	53	1,58546	1,72428
175	2,24303	25,9	39	1,41330	1,59107
210	2,32221	19,25	29	1,28443	1,46239
245	2,38916	14,7	19	1,16731	1,27875
280	2,44715	11,9	14	1,07554	1,14612
315	2,49831	9,8	10	0,99122	1,00000
350	2,54406	8,05	8	0,90579	0,90309

Z těchto hodnot lze sestavit diagramy závislosti $T - v_c$, viz obrázky 5.1, 5.2, dle popsaného postupu v kapitole 1.14.

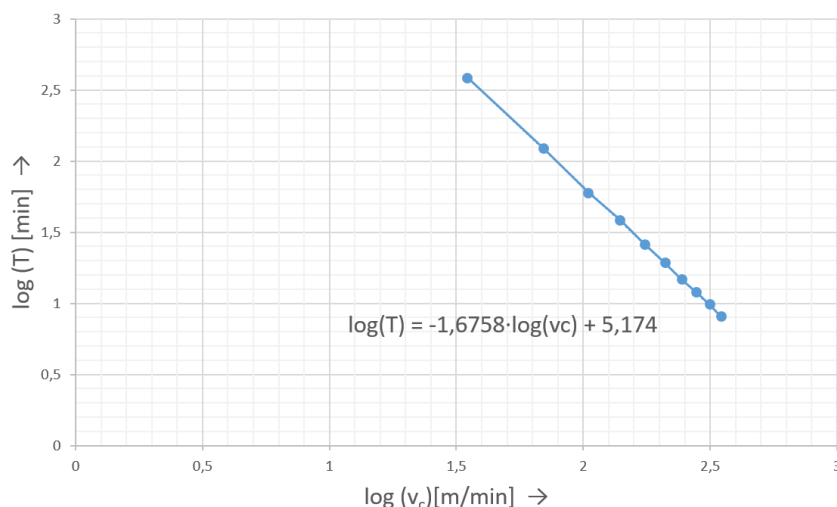


Obrázek 5.1 $T - v_c$ závislost pro nástroje P2, P3 podle [25].

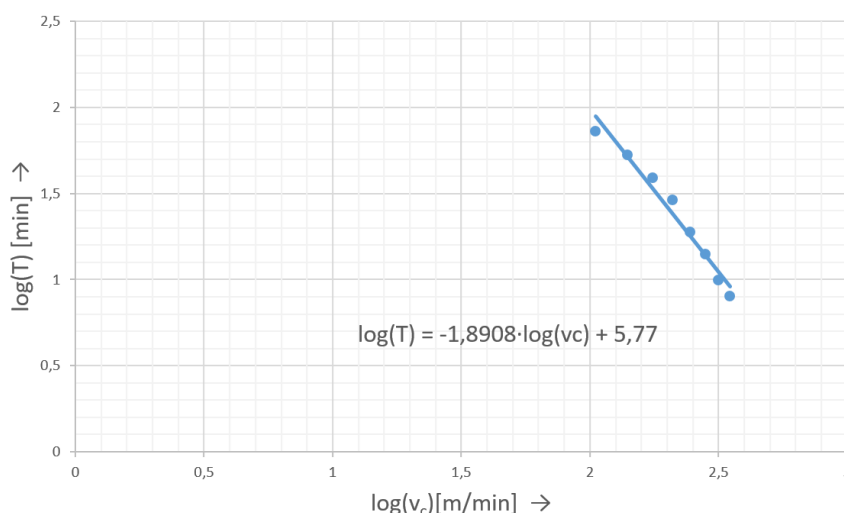


Obrázek 5.2 $T - v_c$ závislost platná pro nástroj P4 podle [25].

Když se provede logaritmizace hodnot v tabulce 5.2, lze $T - v_c$ závislost zakreslit do diagramu, viz obrázek 5.3, 5.4.



Obrázek 5.3 Logaritmovaná $T - v_c$ závislost platná pro nástroje P2, P3 podle [25].



Obrázek 5.4 Logaritmovaná $T - v_c$ závislost platná pro nástroj P4 podle [25].

Z těchto diagramů lze pomocí Taylorova vztahu následně stanovit konstanty m , C_T a C_v , viz kapitola 1.4. Výpočet je proveden dle rovnic (1.44-1.50). Tyto vypočtené koeficienty dále slouží pro výpočet optimální řezné rychlosti a trvanlivosti podle stanoveného kritéria. V této práci je stanovena optimální řezná rychlost graficky a následně ještě pomocí analytického výpočtu. V kapitole 1.4 je popsáno, že tyto vypočítané konstanty platí jen při určitých podmínkách, týkajících se konstantnosti jednotlivých aspektů vstupujících do řezného procesu.

Jak bylo výše napsáno, v rámci této diplomové práce nebyly provedeny testy na stanovení $T - v_c$ závislosti pro konkrétní podmínky obrábění. Tudíž hodnoty, které jsou použity, neodpovídají plně skutečnosti. Ale jelikož trvanlivost nástroje závisí zejména na řezné rychlosti, obráběném materiálu a nástroji, budou ostatní vlivy, jako posuv, šířka záběru ostří a chlazení, zanedbány a nadále bude počítáno s tímto zjednodušením [30].

Výpočet m , C_T a C_v pro nástroje P2, P3

Na diagramu v obrázku 5.3 je rovnice přímky, vytvořená pomocí spojnice trendu v programu Microsoft Excel. Tato přímka charakterizuje právě $T - v_c$ závislost v logaritmickém tvaru. Z této rovnice je možné odvodit hledané koeficienty.

$$\log T = -1,6758 \cdot \log v_c + 5,174$$

$$\log T = \log C_T - \log v_c^m \rightarrow \log T = -m \cdot \log v_c + \log C_T$$

$$m_1 = 1,6758$$

$$\log C_T = 5,174 \rightarrow C_{T1} = 10^{5,174} = 149279,44$$

$$C_{V1} = \sqrt[m]{C_T} = \sqrt[1,6758]{149279,44} = 1223,15$$

Výpočet m , C_T a C_v pro nástroj P4

Stejný postup jako u nástrojů P2 a P3 je i pro nástroj P4 s rozdílem, že se vychází z diagramu na obrázku 5.4 taktéž ze spojnice trendu.

$$\log T = -1,8908 \cdot \log v_c + 5,77$$

$$\log T = \log C_T - \log v_c^m \rightarrow \log T = -m \cdot \log v_c + \log C_T$$

$$m_2 = 1,8908$$

$$\log C_T = 5,77 \rightarrow C_{T2} = 10^{5,77} = 588843,66$$

$$C_{V2} = \sqrt[m]{C_T} = \sqrt[1,8908]{588843,66} = 1126,21$$

Jelikož jsou všechny potřebné hodnoty pro provedení analytického výpočtu optimalizace z hlediska minimálních nákladů vypočteny, je možné provést samotnou optimalizaci operace 20.

5.3 Optimalizace operace 20 z hlediska minimálních nákladů

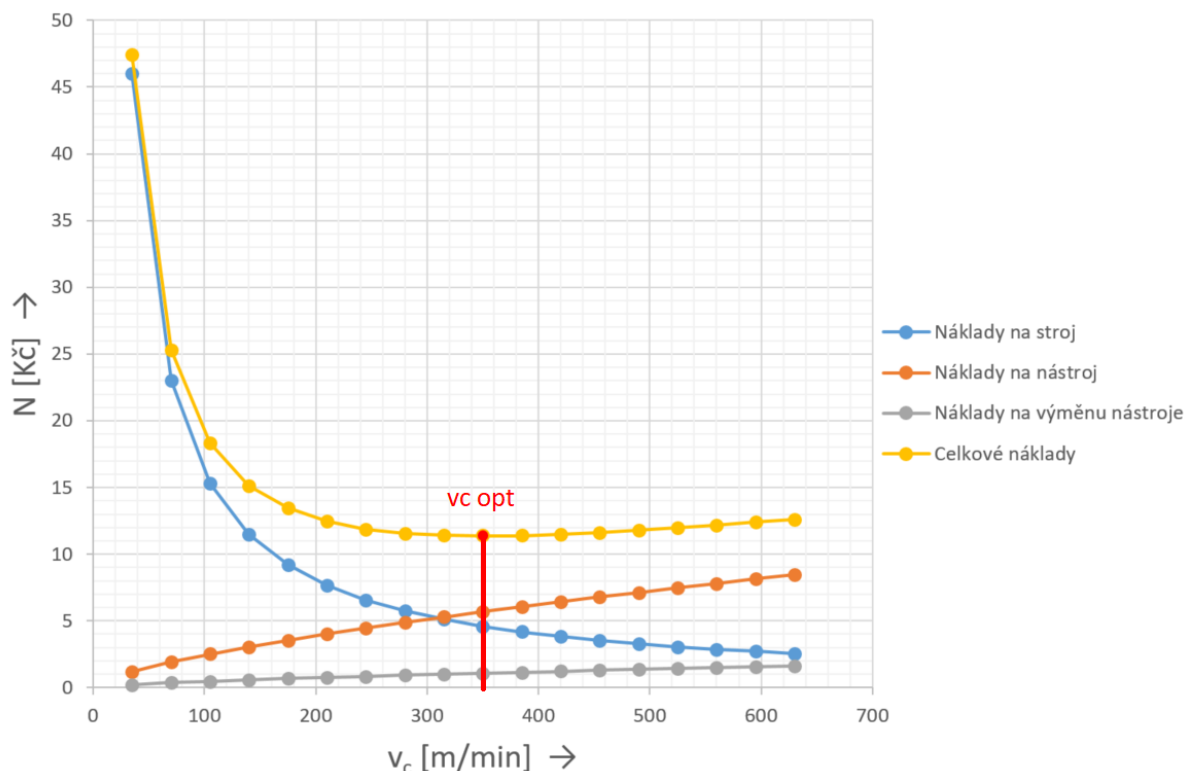
V této podkapitole je provedena optimalizace operace 20 nově navrženého technologického postupu, a to z hlediska minimálních nákladů. Nejprve je optimalizace provedena graficky a následně analyticky. Jak je výše uvedeno, při optimalizaci v této diplomové práci se vychází pouze z $T - v_c$ závislosti, která nezohledňuje posuv či šířku záběru ostří, které se mění při jednotlivých úsecích. Proto je možné provést optimalizaci z hlediska minimálních nákladů pro každý nástroj zvlášť, ale spojit jednotlivé operační úseky, vykonávané stejným nástrojem.

Z řezných podmínek se optimalizuje pouze řezná rychlost a z té se vypočítá optimální trvanlivost nástroje. Není provedena optimalizace posuvu ani šířky záběru ostří. U dokončovacích operací je posuv dán podle požadavků na střední aritmetickou úchylku povrchu R_a a u hrubovacích operací je určen podle doporučení výrobce. Nemusí to sice být optimální hodnota, ale jelikož nejsou k dispozici žádné provedené zkoušky nebo údaje zohledňující posuv, či šířku záběru ostří pro daný případ obrábění, je výhodné postupovat tak, jak je výše napsáno. Šířka záběru ostří je dána přídatkem.

Optimalizace řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů pro nástroj P2 (operační úseky 21, 22, 23)

Grafické řešení:

Na obrázku 5.5 je znázorněn diagram průběhu výrobních nákladů na řezné rychlosti pro operační úseky 21, 22 a 23. Tabulka obsahující podrobně rozepsané a vyčíslené jednotlivé náklady je v příloze 4. Z této tabulky jsou také určeny minimální celkové náklady. Optimální řezná rychlost zjištěná graficky slouží zejména pro názornost, přesná hodnota je spočtena analyticky níže. Analyticky zjištěná hodnota je následně i brána pro následný výpočet.



Obrázek 5.5 Průběh výrobních nákladů v závislosti na řezné rychlosti pro op. úseky 21, 22, 23.

Analytické řešení:

Výpočet je proveden, dle odvozeného vztahu (1.26), viz kapitola 1.1.1. Analytickým výpočtem je jednak potvrzena správnost grafického řešení a také vypočítána přesná hodnota optimální řezné rychlosti. Hodnoty C_T a m jsou vypočítány v kapitole 5.2.

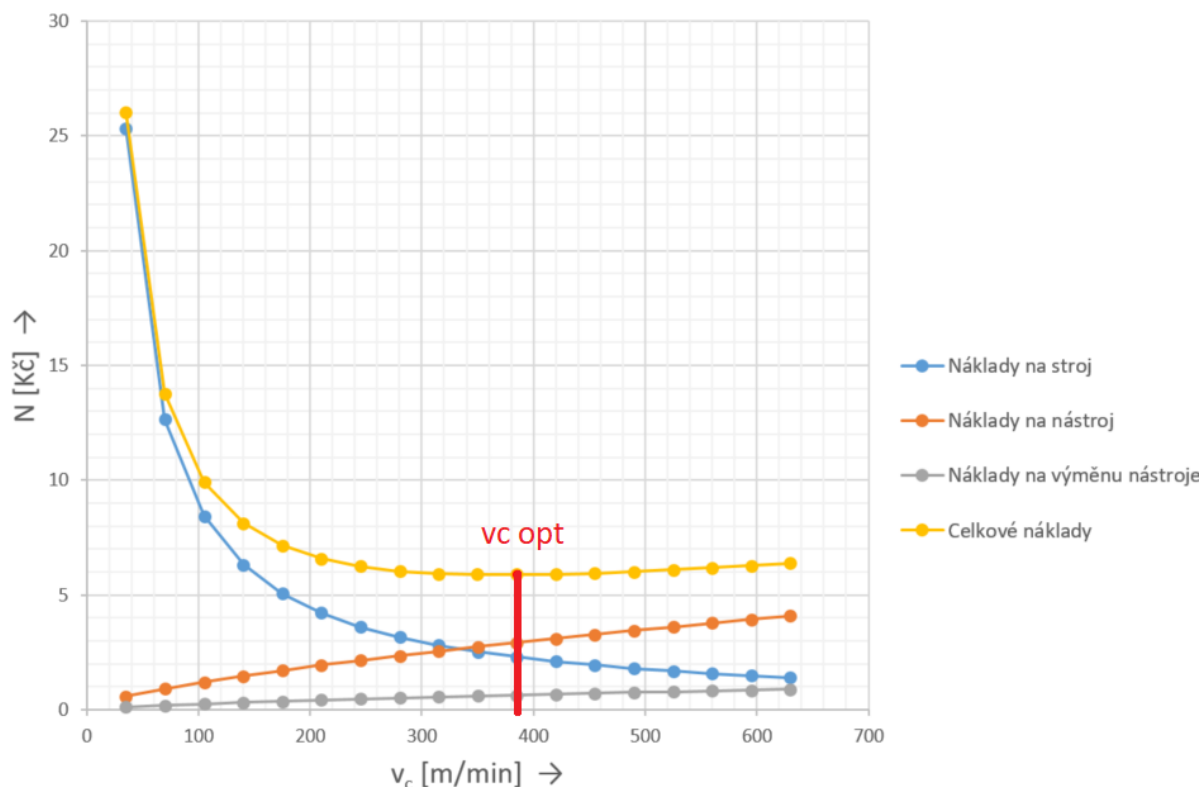
$$C_{T1}=149279,44, m_1=1,6758, N_{sm2}=20 \text{ Kč}, N_{T1}=249,82 \text{ Kč}, \lambda=1$$

$$v_{c \text{ opt}} = \left(\frac{C_T}{\lambda} \cdot \frac{N_{sm}}{N_T \cdot (m - 1)} \right)^{\frac{1}{m}}$$
$$v_{c \text{ opt}1} = \left(\frac{149279,44}{1} \cdot \frac{20}{249,82 \cdot (1,6758 - 1)} \right)^{\frac{1}{1,6758}} = 342,5 \text{ m/min}$$

Optimalizace řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů pro nástroj P3 (operační úsek 24)

Grafické řešení:

Na obrázku 5.6 je znázorněn diagram průběhu výrobních nákladů na řezné rychlosti pro operační úsek 24. Tabulka obsahující podrobně rozepsané a vyčíslené jednotlivé náklady je opět v příloze 4.



Obrázek 5.6 Průběh výrobních nákladů v závislosti na řezné rychlosti pro op. úsek 24.

Analytické řešení:

Stejně jako u předchozích operačních úseků je proveden výpočet optimální řezné rychlosti obdobně.

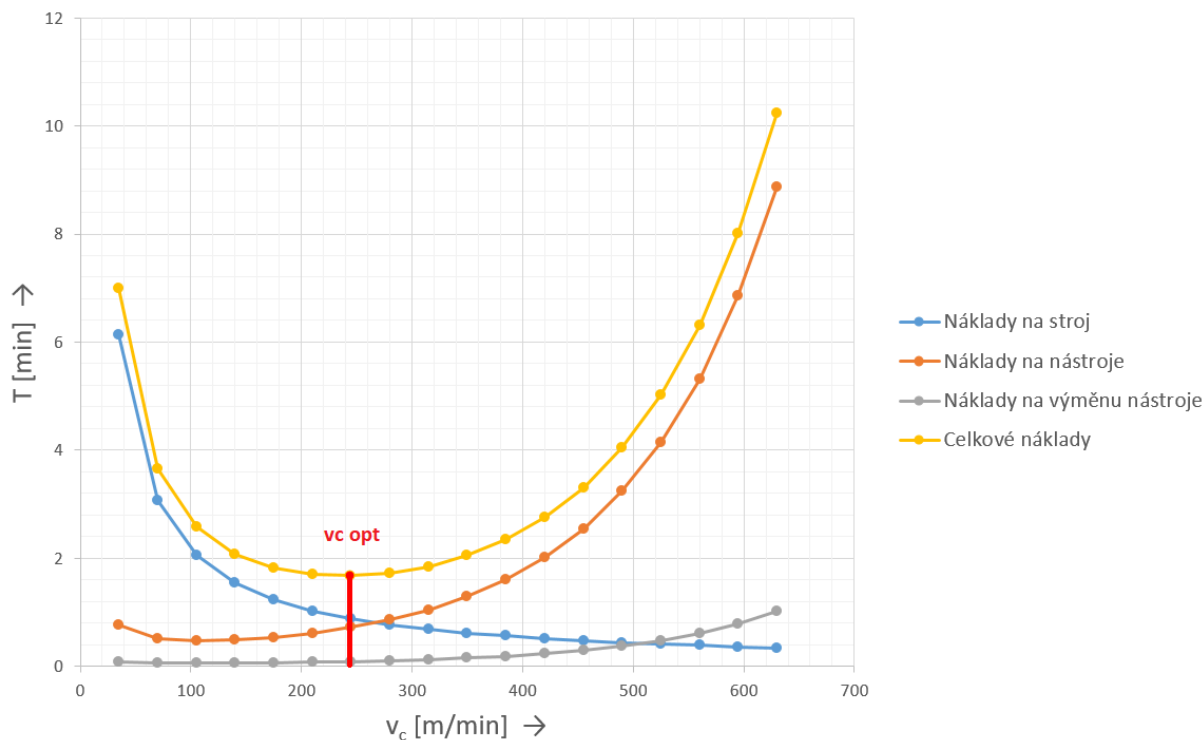
$$C_{T1}=149279,44, m_1=1,6758, N_{sm2}=20 \text{ Kč}, N_{T2}=222,84 \text{ Kč}, \lambda= 1$$

$$v_{c \text{ opt}2} = \left(\frac{149279,44}{1} \cdot \frac{20}{222,84 \cdot (1,6758 - 1)} \right)^{\frac{1}{1,6758}} = 366,7 \text{ m/min}$$

Optimalizace řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů pro nástroj P4 (operační úseky 25, 26)

Grafické řešení:

Na obrázku 5.7 je znázorněn diagram průběhu výrobních nákladů na řezné rychlosti pro operační úseky 25, 26. Tabulka obsahující podrobně rozepsané a vyčíslené jednotlivé náklady je opět v příloze 4.



Obrázek 5.7 Průběh výrobních nákladů v závislosti na řezné rychlosti pro op. úseky 25, 26.

Analytické řešení:

Výpočet proveden stejně, jako u předchozích operačních úseků.

$$C_{T2}=588843,66, m_2=1,8908, N_{sm2}=20 \text{ Kč}, N_{T3}=388,98 \text{ Kč}, \lambda=1$$

$$v_{c \text{ opt}3} = \left(\frac{588843,66}{1} \cdot \frac{20}{388,98 \cdot (1,8908 - 1)} \right)^{\frac{1}{1,8908}} = 249,2 \text{ m/min}$$

Výpočet optimální řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů, který je proveden viz výše, lze považovat za optimální při ideálních podmínkách a navíc neuvažující vliv posuvu a šířky záběru ostří. Proto se může zdát, že optimální řezná rychlost je poměrně vysoká, oproti doporučené řezné rychlosti výrobcem. Přesto se i tato ideální vypočtená optimální řezná rychlost bude muset ještě snížit, kvůli omezujícím podmínkám, viz kapitola 5.4. V tabulce 5.3 je uvedena vypočtená optimální řezná rychlost, pro jednotlivé operační úseky.

Tab. 5.3 Vypočítaná optimální řezná rychlost a optimální otáčky.

Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	$V_{c\ opt}$ [m/min]	D [mm]	n_{opt} [min ⁻¹]
21	Zarovnání čela	1	P2	342,5	36-15	3028-7268
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	342,5	30	3634
		3	P2	342,5	26	4193
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	342,5	30-24	3634-4543
24	Vnitřní soustružení	5	P3	366,7	18	6485
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	249,2	32-24	2479-3305
26	Zapichování	7	P4	249,2	36-15	2203-5288

5.4 Ověření a kontrola omezujících podmínek

V předchozích podkapitolách byly vypočítány ideální pracovní podmínky. Přesto však není jisté, že tyto ideální pracovní podmínky bude možné prakticky provést na daném obráběcím stroji v daném provozu. Každý výrobní stroj má své určité limity, kterými je charakteristický. To jsou například výkon, otáčky, posuv a další.

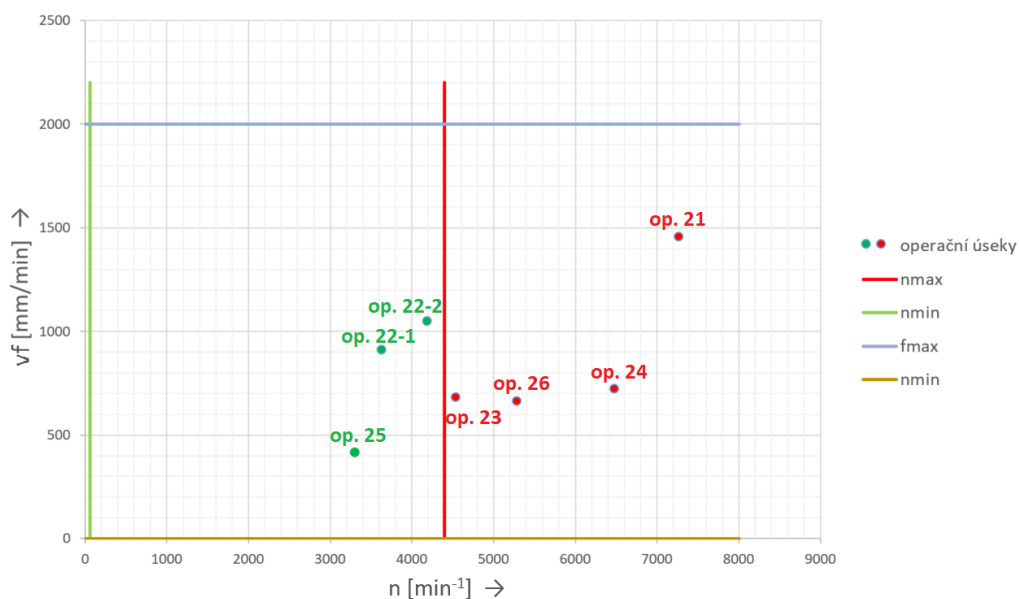
V kapitole 1.2 byly tyto omezující podmínky obráběcího procesu řešeny obecně. V této podkapitole jsou řešeny na konkrétní obráběcí proces a daný stroj.

Omezení dané maximálními a minimálními otáčkami a maximálním a minimálním posuvem z hlediska stroje:

Matematicky je tato podmínka formulována v kapitole 1.2.7, viz rovnice (1.40, 1.41). Toto omezení bude řešeno, jako první, jelikož z tabulky 5.3, kde jsou vypsány vypočítané optimální otáčky, lze vyzorovat, že přesahují otáčky schopné nastavit na daném obráběcím centru. V kapitole 3.2 je popsán obráběcí stroj, na kterém je daná operace prováděna. Z údajů výrobce vyplývá, že minimální a maximální otáčky hlavního vřetene CNC soustružnického centra DOOSAN Lynx 220LYC jsou 60–4500 min⁻¹ [11]. Přesto, že výrobce uvádí hodnotu otáček, která by měla být bezpečně dosažitelná, bude výhodné počítat s určitou rezervou. Pro tuto práci bude jako maximální hodnota přípustných otáček hlavního vřetene stroje brána hodnota 60–4400 min⁻¹.

Hodnota minimálního a maximálního minutového posuvu je udávána výrobcem. Tento interval je od 0–2000 mm/min. Jelikož minutový posuv souvisí s otáčkami stroje, jsou tyto dvě omezení řešeny zároveň.

Kontrolu těchto omezujících podmínek je výhodné provést například graficky. To se provede tak, že do grafu je zanesen minimální a maximální minutový posuv a minimální a maximální otáčky hlavního vřetene stroje. Poté se do toho stejného grafu vynesou hodnoty otáček a jím odpovídající minutové posuvy pro jednotlivé operační úseky. Ty body, které leží mimo oblast přípustných řešení, viz podkapitola 1.3, jsou nevyhovující a je nutno provést korekci optimální řezné rychlosti. Na obrázku 5.8 je vyobrazeno výše popsané grafické řešení.



Obrázek 5.8 Grafické řešení omezení dané min. a max. otáčkami a minutovým posuvem stroje.

Jak lze vidět na obrázku 5.8, tak většina operačních úseků nesplnila kritérium maximálních otáček dané strojem. Ty operační úseky, které splnily dané kritérium, jsou na obrázku 5.8 označeny zelenou barvou, naopak ty, které nesplnily, tak barvou červenou. Omezení dané minimálním a maximálním minutovým posuvem splnily všechny operační úseky. Z diagramu na obrázku 5.8 vyplývá, že by bylo výhodné použít stroj, který umožňuje vyšší maximální otáčky hlavního vřetene. To však pro daný případ není možné. Proto musí být otáčky upraveny, tak aby byly menší než maximální otáčky hlavního vřetene stroje. V tabulce 5.4 jsou uvedeny původní optimalizované hodnoty označeny barevně, podle toho jestli jsou vyhovující, či ne. Ty, které vyhovují, jsou zelenou barvou a ty které nikoliv, tak barvou červenou. Toto vyhodnocení je podle grafu na obrázku 5.8. Nevhovující hodnoty jsou upraveny tak, aby podmínku maximálních a minimálních otáček a maximálních a minimálních minutových posuvů z hlediska stroje splňovaly.

Tab. 5.4 Kontrola operačních úseků z hlediska maximálních a minimálních otáček stroje.

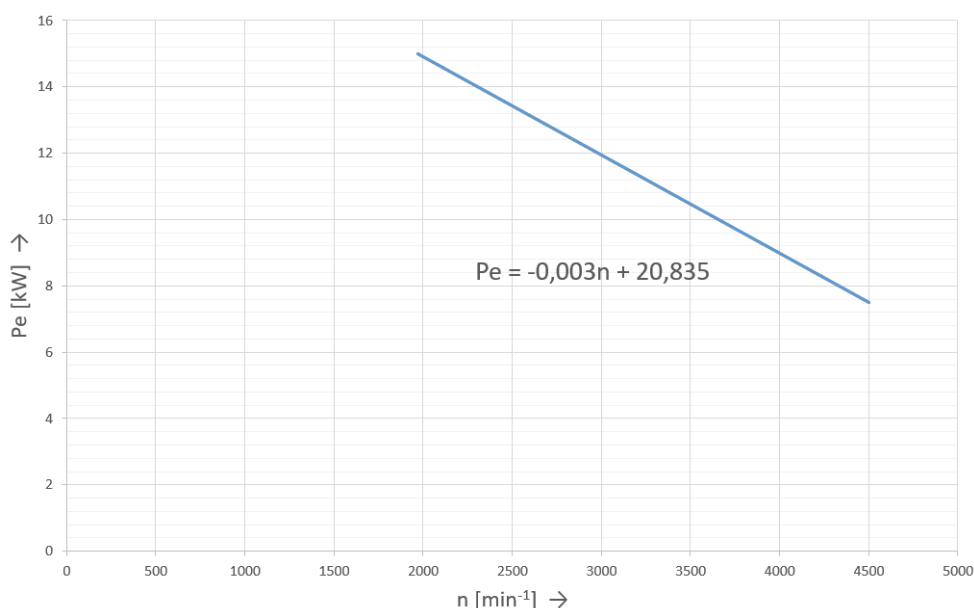
Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	$V_c \text{ opt}$ [m/min]	Nově navržená $V_c \text{ opt1}$ [m/min]	Nově navržené n_{opt} [min ⁻¹]
21	Zarovnání čela	1	P2	342,5	207,3	1832-4399
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	342,5	-	-
		3	P2	342,5	-	-
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	342,5	331,7	3519-4399
24	Vnitřní soustružení	5	P3	366,7	248,8	4399
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	249,2	-	-
26	Zapichování	7	P4	249,2	207,3	1833-4399

Omezení dané výkonem obráběcího stroje:

Toto omezení je zejména nutné brát na zřetel hlavně u hrubovacích operací. Zde se předpokládá generování větších řezných sil a z toho vyplývá potřeba většího výkonu stroje. V příloze 6 je vyobrazena výkonová charakteristika motoru vřetena stroje, která je dodána od výrobce stroje. Tato charakteristika je velice důležitá při rozhodování, jestli při určitých otáčkách a zátěži je stroj schopen dosáhnout potřebného výkonu.

U dnešních moderních strojů se objevuje velké množství různých druhů motorů s různými výkonovými charakteristikami. Jejich průběh se liší a má i odlišnou matematickou formulaci. Přesto však v uvažovaném provozu firmy a charakteru výroby se téměř nikdy nedosáhne takového zatížení při obrábění, aby se stroj dostal do svých limitů s výkonem.

Ve většině operačních úseků se po optimalizaci řezných podmínek otáčky hlavního vřetene pohybují nad 2000 min^{-1} . Podle závislosti výkonu na otáčkách hlavního vřetene, který je v příloze 6, je zřejmé, že tato závislost nad 2000 otáček za minutu má lineární průběh. Na obrázku 5.9 je zobrazena oblast otáček od 1969 až po 4500 za minutu, omezená lineární závislostí výkonu na otáčkách hlavního vřetene. Na obrázku 5.9 je udělána také spojnice trendu, která je rovnicí této lineární závislosti. V katalogu není uvedeno, zdali se jedná o výkon elektromotoru nebo řezný výkon a mechanická účinnost taktéž není uvedena. Pro zjednodušení bude tedy uvažováno, že se jedná o výkon elektromotoru, ale mechanická účinnost se rovná jedné. To sice není reálný případ, ale pro tento teoretický výpočet to bude postačující.



Obrázek 5.9 Závislost výkonu na otáčkách vřetene pro otáčky v inter. od $1869\text{--}4500 \text{ min}^{-1}$ podle [11].

Pro zjištění potřebného výkonu elektromotoru hlavního vřetene, resp. řezného výkonu v tomto případě, je nezbytné vypočítat řeznou sílu vznikající při obrábění. Ta se spočítá dle rovnice (1.32). V tabulce 5.5 je uvedena vypočítaná řezná síla generovaná při daném obrábění, pro jednotlivé operační úseky. Hodnota měrné řezné síly k_c , která je k tomuto výpočtu nezbytná, je stanovena dle literatury [32] na 1350 N/mm^2 . Z řezné síly je následně vypočítán řezný výkon, podle rovnice (1.31) uvedený v kapitole 1.2. Maximální přípustný řezný výkon se spočítá podle rovnice uvedené na obrázku 5.9, to znamená z lineární závislosti výkonu na otáčkách hlavního vřetene stroje v intervalu otáček $1869\text{--}4500 \text{ min}^{-1}$. Jak bylo výše uvedeno, tak v této

práci bude mechanická účinnost uvažována 1 a z toho vyplývá, že $P_c \sim P_e$. Platnost omezení dané výkonem stroje je pak v tabulce 5.5 vyjádřena znaménkem větší, menší. V případně splněného omezení, to znamená, že řezný výkon generován v jednotlivých operačních úsecích je menší než maximální přípustný řezný výkon stroje, je znaménko označeno zeleně.

Tab. 5.5 Kontrola omezení dané maximálním přípustným výkonem hl. vřetene stroje.

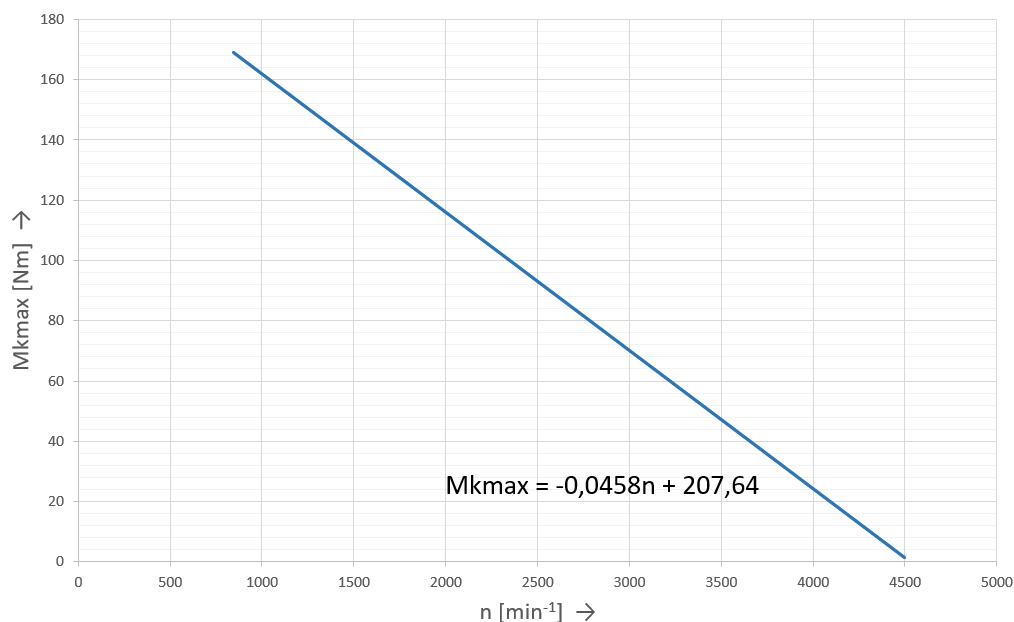
Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	F_c [N]	P_c [kW]		$P_{cmax}=0,003n+20,835$ [kW]
21	Zarovnání čela	1	P2	216,0	0,75	<	7,638
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	337,5	1,93	<	9,933
		3	P2	1012,5	5,78	<	8,256
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	202,5	1,12	<	7,638
24	Vnitřní soustružení	5	P3	74,9	0,31	<	7,638
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	506,3	2,10	<	10,92
26	Zapichování	7	P4	506,3	1,75	<	7,638

Jak z tabulky 5.5 vyplývá, všechny jednotlivé operační úseky splnily omezení dané maximálním přípustným řezným výkonem stroje.

Omezení dané maximálně přípustným momentem:

Další omezení, které je zejména při soustružení nutné uvažovat je dané maximálním přípustným krouticím momentem. To je zejména důležité u hrubovacích operací, u kterých je předpoklad generování větších řezných sil a z toho vyplývajícího krouticího momentu. V kapitole 1.2.2 je matematicky vyjádřena tato omezující podmínka.

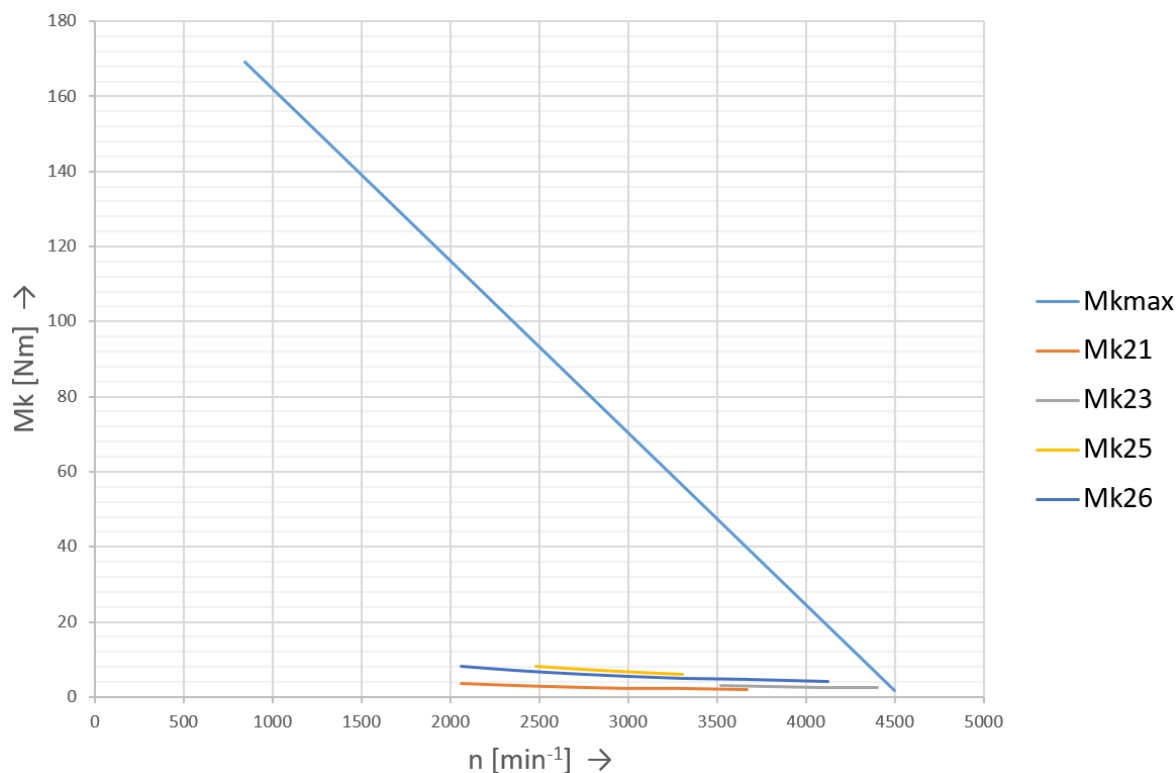
Postup stanovení maximálního přípustného krouticího momentu je obdobný, jako v případě omezení dané maximálním přípustným řezným výkonem stroje. Určitá komplikace je, že v intervalu otáček, ve kterých se jednotlivé optimalizované operační úseky pohybují, nemá maximální přípustný krouticí moment lineární závislost. V příloze 6, kde je vyobrazena závislost krouticího momentu na otáčkách hlavního vřetene, není uvedena rovnice, podle které se tato závislost počítá. Pro zjednodušení je přes body, které jsou z grafu patrné, provedeno proložení křivkou a uvažována lineární závislost, viz obrázek 5.10. Na obrázku 5.10 je křivka vyobrazena a také její rovnice, vytvořená pomocí spojnice trendu v programu Microsoft Excel.



Obrázek 5.10 Závislost krouticího momentu na otáčkách vřetene v inter. od 844-4500 min⁻¹ [11].

V tabulce 5.6 je provedena kontrola, jestli moment vznikající při obrábění jednotlivých operačních úseků nepřekračuje maximální přípustný krouticí moment z hlediska stroje. Pro tento výpočet je nutné znát právě moment vznikající při obrábění, resp. generovaný silou F_c na určitém rameni. Výpočet je proveden podle kapitoly 1.2.

U operačních úseků, při kterých se mění otáčky, to znamená například zarovnání čela, je nutné zkontrolovat, jestli v celém tomto procesu nedojde k překonání maximálního přípustného krouticího momentu. Tato kontrola je provedena graficky pro operační úseky 21, 23, 25, 26 na obrázku 5.11.



Obrázek 5.11 Kontrola omezení maximálního krouticího momentu pro operační úseky s nekonzantními otáčkami.

Tab. 5.6 Kontrola omezení maximálního přípustného momentu.

Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	F_c [N]	M [Nm]		$M_{kmax} = -0,0458n + 207,64$ [Nm]
21	Zarovnání čela	1	P2	216,0	3,46-1,94	<	113,20-39,74
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	337,5	5,06	<	41,20
		3	P2	1012,5	13,16	<	15,60
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	202,5	3,04-2,43	<	46,45-6,15
24	Vnitřní soustružení	5	P3	74,9	0,67	<	6,15
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	506,3	8,10-6,08	<	94,109-56,27
26	Zapichování	7	P4	506,3	8,10-4,05	<	113,20-18,76

Jak vyplývá z tabulky 5.6 tak všechny operační úseky splnily omezení maximálním přípustným krouticím momentem z hlediska stroje.

Přesto to není jediné omezení, které se pojí s krouticím momentem při obrábění. Další omezení souvisí s maximálním krouticím momentem vyvozený upínacími silami. To znamená, že moment vyvolaný řeznou silou nepřekročí maximální přípustný krouticí moment, který je vyvozen upínacími silami. V opačném případě by došlo k uvolnění obrobku a možnému poškození stroje, či nástrojů.

Obrobek je upnutý v tříčelistovém sklíčidle. Od řezné síly F_c , která je vyvolána nástrojem působícím na obrobek, je vyvolán moment. Tento moment má snahu vytrhnout obrobek a protočit ho. Proti tomu působí třecí síla F_t , která je vyvolána silou F_u vynásobenou součinitelem tření, který je pro tento případ upnutí uvažován 1. To znamená, že kritický krouticí moment $M_{k \text{ krit}}$, při kterém dojde k protočení obrobku lze spočítat jako součet třecích sil F_t vynásobených poloměrem upnutého obrobku. Tudíž tato podmínka lze matematicky zapsat, viz rovnice (5.1).

$$3 \cdot F_t \cdot \frac{D_{pol}}{2} \geq F_c \cdot \frac{D}{2} \quad (5.1)$$

Z parametrů stroje byla upínací síla F_u stanovena na 377 N. To znamená, že kritický krouticí moment $M_{k \text{ krit}}$ je dle rovnice (5.1) 18,1 Nm. Podle tabulky 5.6 lze porovnat momenty vznikající při jednotlivých operačních úsecích a kritický krouticí moment, při kterém by došlo k uvolnění obrobku. Z toho vyplývá, že všechny operační úseky toto omezení splnily a není je potřeba upravovat.

Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy:

Jelikož se v této diplomové práci pro danou součást považuje obrábění za dokončovací operaci, je nutné uvažovat omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy. Tato podmínka je matematicky formulována dle vztahu (1.39). Týká se to operačních úseků 23, 24, které určují výsledný rozměr a povrch součásti. U operace 24 to přímo nevyplývá z výkresové dokumentace, jelikož po operaci 20 následuje ještě operace 40, kde se povrch obrobený v operačním úseku 24 vystruží. Tudíž se finální rozměr a drsnost povrchu vytvoří poté. Přesto požadavek z montáže je, aby tento povrch měl $Ra = 1,6 \mu m$ a menší. V tabulce 5.7 jsou uvedeny předepsané střední aritmetické úchyly profilu Ra , viz příloha 1, a poté střední aritmetické úchyly profilu teoreticky stanovené dle výrobce pro jednotlivé operační úseky.

Uvedené střední aritmetické úchyly profilu Ra byly vypočítány podle vztahu z katalogu firmy Pramet Tools, s.r.o. [13]. Byly nalezeny i jiné výpočtové vzorce, ale hodnoty byly nižší. Použití vzorce, z kterého vychází Ra větší, než od jiných výrobců vnáší do výpočtu určitou rezervu. Tato rezerva může být prospěšná hlavně při aplikaci této diplomové práce do praxe, kde se mohou objevit další neuvažované činitele.

Tab. 5.7 Kontrola omezení z hlediska drsnosti povrchu [13].

Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	Ra teoretické [μm]		Ra požadov. [μm]
21	Zarovnání čela	1	P2	2,64	<	-
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	4,02	<	-
		3	P2	4,02	<	-
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	1,54	<	1,6
24	Vnitřní soustružení	5	P3	1,41	<	1,6
25	Dokončení rádia $R1,5$	6	P4	3,88	<	-
26	Zapichování	7	P4	-	<	-

Ostatní omezení jsou při výpočtu v této diplomové práci zanedbány.

5.5 Shrnutí pracovních podmínek optimalizované operace 20 po ověření a kontrole omezujících podmínek

Vypočtené ideální optimalizované pracovní podmínky bylo nutné překontrolovat dle omezujících podmínek. Tato kontrola byla v podkapitole 5.5. Ty podmínky, které nevyhovovaly, byly přepočítány, tak aby splňovaly předepsaná omezení. V tabulce 5.8 jsou tyto optimální pracovní podmínky pro danou výrobu podle kritéria nejnižších výrobních nákladů vypsány.

Tab. 5.8 Optimální pracovní podmínky s ohledem na nejnižší výrobní náklady.

Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	$V_{c\ opt}$ [m/min]	n_{opt} [min ⁻¹]	T_{opt} [min]
21	Zarovnání čela	1	P2	207,3	1832-4399	19,56
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	342,5	3634	8,43
		3	P2	342,5	4193	8,43
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	331,7	3519-4399	8,90
24	Vnitřní soustružení	5	P3	248,8	4399	14,48
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	249,2	2479-3305	20,65
26	Zapichování	7	P4	207,3	1833-4399	30,11

5.6 Výrobní náklady pro optimalizované podmínky

V předchozích podkapitolách byla vypočtena graficky a analyticky ideální optimální řezná rychlost pro nově navržený technologický postup. Dále byla tato ideální optimální řezná rychlost ověřena, zdali nepřekračuje určitá omezení z hlediska stroje. U těch operačních úseků, kde bylo zjištěno toto překročení, tak se provedl přepočet ideálních optimálních řezných podmínek. Poté byly pro jednotlivé operační úseky dopočítány otáčky a trvanlivost nástroje odpovídající daným optimálním řezným rychlostem.

V tabulce 5.9 jsou vyčísleny jednotlivé náklady pro tyto optimální řezné podmínky. Tyto náklady pak dále slouží k celkovému porovnání výhodnosti nově navrženého výrobního postupu oproti stávajícímu stavu výroby.

Tab. 5.9 Zhodnocení operace 20 optimalizované nově navržené výroby.

Op. úsek:	Úkon	Č. záběru	Pozice nástroje	t_{AS} [min]	N_S [Kč]	N_N [Kč]	N_{vm} [Kč]	N_C [Kč]
21	Zarovnání čela	1	P2	0,02029	0,4058	0,2177	0,0415	0,6650
22	Hrubování vnějšího tvaru	2	P2	0,01871	0,3742	0,4657	0,0888	0,9287
		3	P2	0,06487	1,2974	1,6146	0,3078	3,2198
23	Soustružení vnějšího tvaru na čisto	4	P2	0,13335	2,6678	3,1438	0,5993	6,4109
24	Vnitřní soustružení	5	P3	0,17203	3,4406	2,1722	0,4752	6,0880
25	Dokončení rádia R1,5	6	P4	0,01614	0,3227	0,2728	0,0313	0,6268
26	Zapichování	7	P4	0,03246	0,6492	0,3762	0,0431	1,0685

Výpočet celkových nákladů na jeden kus

Výpočet celkových nákladů je obdobný jako v předchozích kapitolách. Jelikož se optimalizovaly pouze řezné podmínky nově navrženého výrobního postupu, tak i vedlejší časy zůstaly stejné. Z toho vyplývá, že jediný rozdíl bude v nákladech na strojní práci a na nástroje a jejich výměnu.

Opět je potřeba zohlednit přírážku směnového času a to pomocí koeficientu směnového času k_{cc} . Ten zůstal stejný jako v předešlých kapitolách $k_{cc}=1,10345$.

Výpočet nákladů na strojní práci dle rovnice (1.2).

$k_{cc}=1,10345$, $t_{ASopt}=0,45785$ min, $N_{sn2}=1200$ Kč

$$N_{sopt} = 0,45785 \cdot 1,10345 \cdot \frac{1200}{60} = 10,10 \text{ Kč}$$

Náklady na vedlejší práci, jak už bylo výše napsáno, se nezměnily. Jejich hodnota je tedy $N_{Vopt}=27,01$ Kč. Výpočet nákladů na nástroj a jeho výměnu vztažený na jeden obrobený kus N_N se vypočítá dle rovnic (1.3, 1.4, 1.5) a jednotlivé hodnoty jsou vyčísleny v tabulce 5.9. Součet těchto nákladů je 10,74 Kč na jeden kus. Celkové náklady na jeden obrobený kus se poté vypočítají dosazením jednotlivých dílčích nákladů do rovnice (1.1) a přičtení nákladů na materiál.

$N_{sopt}=10,10$ Kč, $N_{Nopt}=9,85$ Kč, $N_{Vopt}= 27,01$ Kč, $C_{m2}=87,25$ Kč

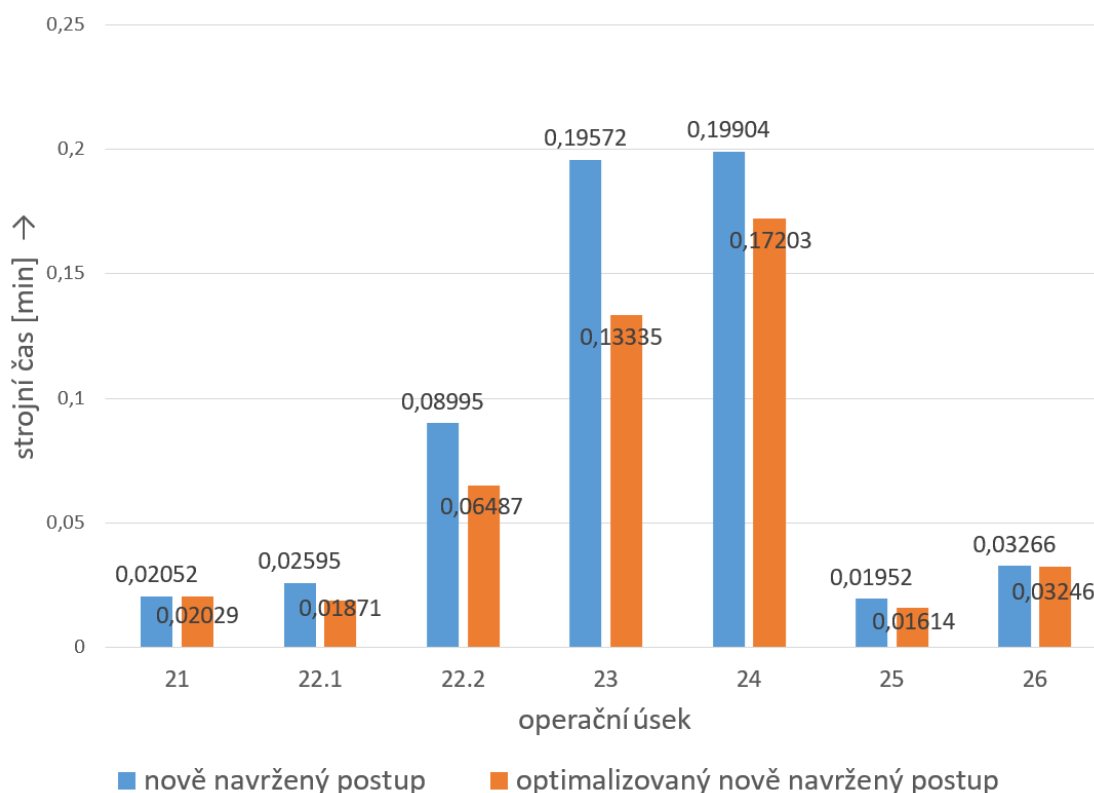
$$N_{Copt} = 10,10 + 9,85 + 27,01 + 87,25 = 134,21 \text{ Kč}$$

6 CELKOVÉ TECHNICKO EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ

V této kapitole je zhodnocen nově navržený výrobní postup oproti stávajícímu a také je porovnán optimalizovaný nově navržený postup. Způsobů, kterými lze porovnat stávající a nově navržený výrobní postup je více. V této kapitole jsou hodnoceny zejména výrobní náklady, což je jeden ze zásadních aspektů výroby. Dále jsou porovnány výrobní časy, které s náklady úzce souvisí.

V první části této kapitoly je provedeno porovnání pouze operace 20 nově navrženého výrobního postupu a optimalizovaného nově navrženého výrobního postupu. Z tohoto porovnání je zřejmá výhodnost provedené optimalizace řezných podmínek a také do jaké míry má vliv na celkové výrobní náklady.

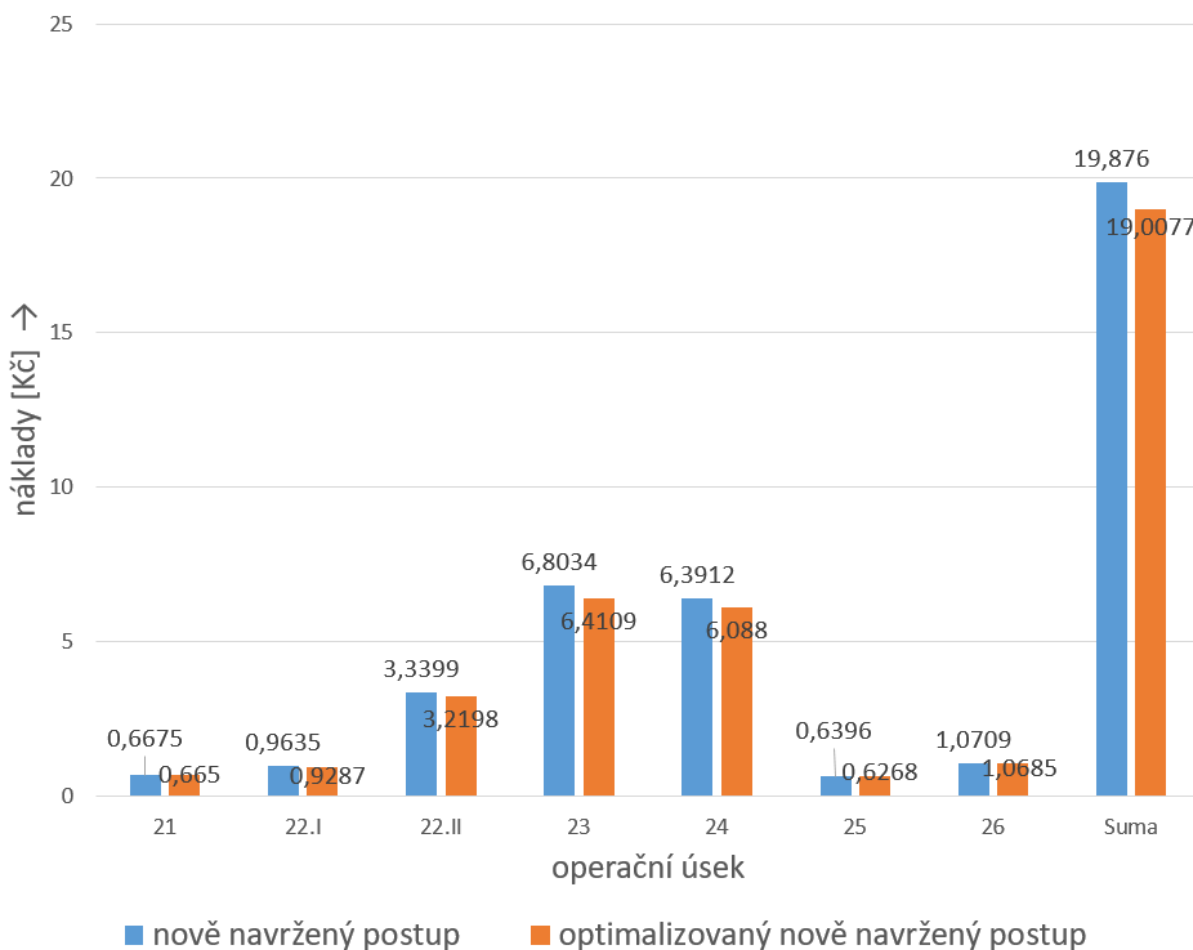
V grafu na obrázku 6.1 jsou porovnány výrobní časy operačních úseků. Jak z grafu vyplývá, strojní časy všech operačních úseků optimalizovaného nově navrženého postupu jsou kratší. To je dáno vyšší řeznou rychlostí. To má ale negativní vliv na životnost nástrojů, která se při vyšší řezné rychlosti snižuje, viz podkapitola 5.3.



Obrázek 6.1 Porovnání strojních časů jednotlivých operačních úseků po optimalizaci.

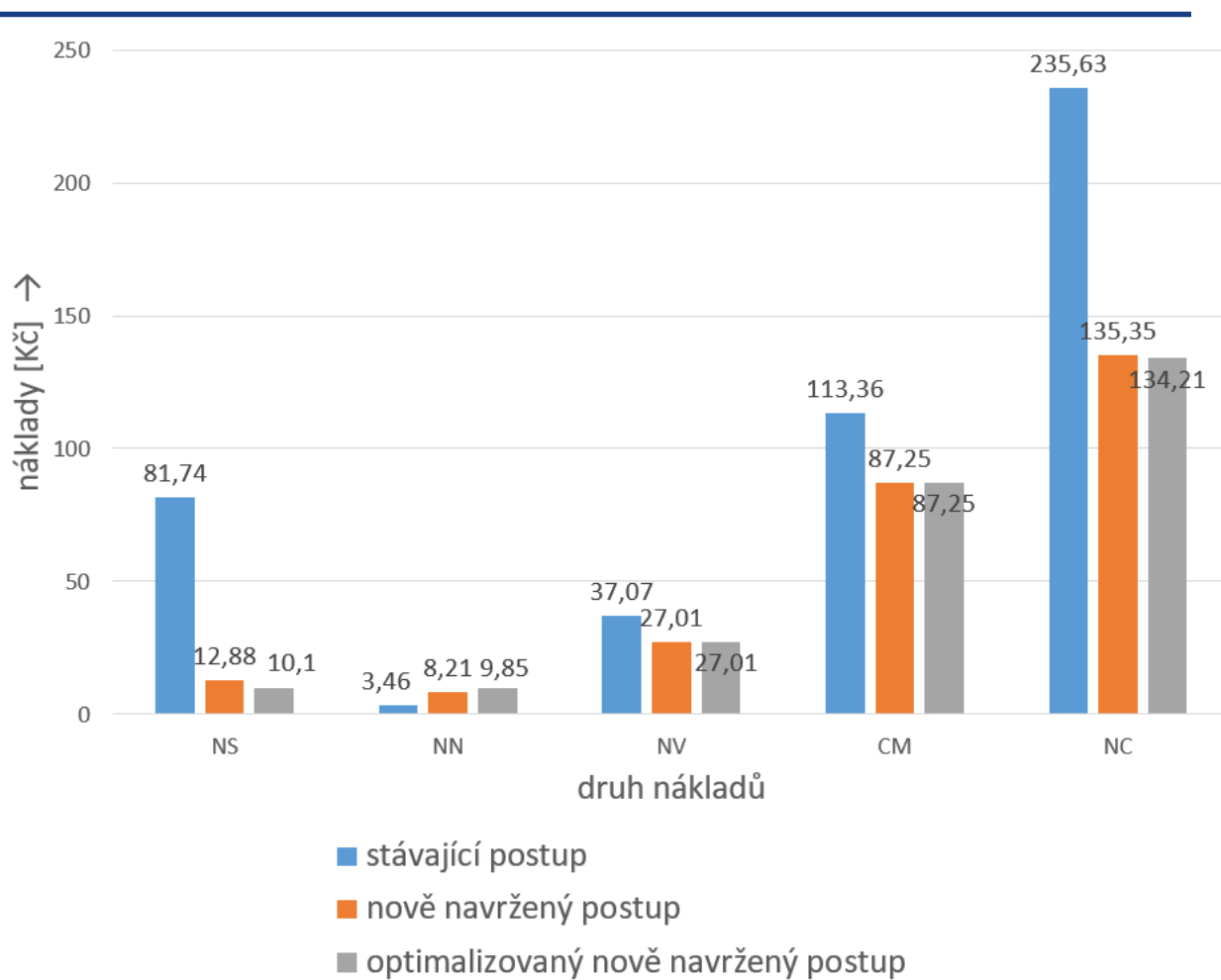
V příloze 5 jsou grafy srovnávající výrobní náklady pro jednotlivé operační úseky operace 20 nově navrženého výrobního postupu a optimalizovaného nově navrženého výrobního postupu. Z těchto grafů vyplývá, že pro tento konkrétní případ optimalizace je trend nákladů pro všechny operační úseky obdobný. Náklady na strojní práci jsou pro optimalizovaný nově navržený výrobní postup nižší, ale náklady na nástroj a jeho výměnu se zvyšují. Tento poměr je ve všech případech takový, že celkové náklady se sníží, což je také účelem této optimalizace z hlediska minimálních nákladů. Z grafů v příloze 5 je patrné, že optimalizace dopadla dle teoretického předpokladu. Rozdíl celkových nákladů jednotlivých operačních úseků je odlišný. To zejména souvisí se strojním časem daného operačního úseku. Při větším strojním čase je rozdíl celkových nákladů nově navrženého výrobního postupu a optimalizovaného nově navrženého výrobního postupu větší.

Na obrázku 6.2 je zobrazeno porovnání celkových nákladů jednotlivých operačních úseků operace 20 opět nově navrženého výrobního postupu a optimalizovaného nově navrženého výrobního postupu. Graf na obrázku 6.2 má velkou vypovídající hodnotu. Rozdíl celkových nákladů nově navrženého výrobního postupu a optimalizovaného nově navrženého výrobního postupu je pouze 0,87 Kč bez zohlednění koeficientu přírážky směnového času. To není ani 5 % z těchto nákladů. Jedním z důvodů je, že většina vypočítaných ideálních pracovních podmínek poté byla upravena podle omezujících podmínek, viz podkapitola 5.5. Také z toho vyplývá, že řezné podmínky voleny dle doporučení výrobce se blížily těm optimálním z hlediska minimálních nákladů.



Obrázek 6.2 Porovnání celkových nákladů jednotlivých operačních úseků po optimalizaci.

V předchozí části této kapitoly byl porovnáván nově navržený výrobní postup a optimalizovaný nově navržený výrobní postup. Ale ještě důležitější je porovnání se stávajícím stavem výroby. To je totiž hlavní ukazatel toho, jaký celkový přínos pro firmu tato diplomová práce má. Jak lze vidět na sloupcovém grafu na obrázku 6.3, tak náklady na optimalizovaný nově navržený postup jsou výrazně nižší. Rozdíl činí 101,25 Kč. Úspora na jednom vyrobeném kuse je tedy 43 %. To znamená, že při sérii 1000 ks, která byla stanovena jako výchozí, činí úspora 101 250 Kč.



Obrázek 6.3 Porovnání celkových nákladů jednotlivých technologických postupů.

7 DISKUSE

První kapitola byla zaměřena na teoretický rozbor problematiky. Aby bylo možné provést praktickou část správně, je nezbytné znát problematiku teoreticky. Nejprve byla uvedena kritéria, podle kterých lze optimalizaci provádět. Pro tuto diplomovou práci bylo zvoleno kritérium nejnižších nákladů, což vyplývalo z potřeb dané firmy. Další část teoretického rozboru byla věnována omezujícím podmínkám, které bylo následně nutné zohlednit ve výpočtu při optimalizaci. Poslední část byla zaměřena na opotřebení řezných nástrojů. Toto téma je nedílnou součástí problematiky optimalizace obráběcího procesu. Z opotřebení nástroje vychází životnost nástroje, která je nutná pro výpočet nákladů na nástroj a jeho výměnu.

Druhá kapitola už byla zaměřena na konkrétní rotační součást, která byla pro tuto diplomovou práci zvolena. Byla zde rozebrána její funkčnost, materiál a konstrukční rozbor. V konstrukčním rozboru byly popsány jednotlivé funkční prvky součásti a jejich účel.

V další kapitole byl popsán stávající stav výroby. Nejprve bylo nutné zhodnotit stávající polotovary a vypočítat stupeň využití materiálu. Ten vyšel nízký, a jelikož cena použitého materiálu je poměrně vysoká oproti běžně používaným materiálům v dané výrobě, tak to byl impuls k následnému návrhu jiného polotovaru. Následně byly popsány jednotlivé nástroje použité k výrobě součástky a také posouzena jejich vhodnost. Bylo zjištěno, že většina nástrojů není použita podle doporučení výrobce, a to jak z hlediska obráběného materiálu, tak z hlediska řezných podmínek. Dále byl sepsán technologický postup a vytvořena návodka pro operaci 20, u které byl předpoklad největších výrobních časů, což se i následně potvrdilo podle grafu na obrázku 3.5. Životnosti použitých nástrojů byly neobvykle velké, což vypovídalo o tom, že řezná rychlost je zbytečně nízká a tím se stává obrábění ne hospodárným.

Všechny výše popsané aspekty stávajícího stavu výroby vypovídaly o možnosti úspory podstatné části nákladů. V technicko-ekonomickém zhodnocení stávajícího stavu výroby v grafu na obrázku 3.7 byl vyobrazen poměr jednotlivých nákladů na celkových nákladech výroby. Z tohoto grafu vyplývá, že skoro 50 % nákladů je za materiál a 35 % jsou náklady na strojní práci obsažené v operaci 20. Podle těchto údajů byl určen další vývoj diplomové práce a věci, na které se potřeba zaměřit v nově navrženém postupu výroby. Optimalizace řezných podmínek tedy nebyla provedena pro stávající stav výroby, jelikož většina nástrojů byla použita špatně a optimalizace by se prováděla obtížně, jelikož nejsou známy vlastnosti daného nástroje při aplikaci na materiál součásti.

Podle výše popsaných skutečností se může zdát, že daná výroba součásti není provedena efektivně. Důvodů může být více, ale většina jich plyne z toho, že firma se nezabývá v první řadě obráběním. Je to pro firmu jen okrajový proces, a jelikož se většinou jedná jen o kusovou výrobu, firma mu nevěnovala větší pozornost. Proto lze tedy předpokládat, že při větších sériích obráběných kusů je nutné výrobu řešit do detailu, jinak neefektivnost výroby znamená zbytečné náklady navíc. To byl také důvod zaměření této diplomové práce na danou součást, protože je předpoklad výrazných úspor.

Ve čtvrté kapitole byly tedy navrženy zlepšení stávajícího stavu výroby. Podle grafu na obrázku 3.7 se zlepšení týkala zejména použitého polotovaru a operaci 20. Ve stávajícím stavu výroby byla použita tyč kruhová o průměru 32 mm. To ovšem znamená nutnost vrtat součást, což je časově náročné a také ztráta materiálu je poměrně velká. Důvodem proč nebyla použita trubka kruhová je ten, že dodavatel neměl v nabídce takovou trubku kruhovou, která by rozměrově vyhovovala pro výrobu

součásti. V rámci této práce byla u dodavatele poptána trubka, která rozměrově není v jejich nabídce. Z důvodů množství tohoto materiálu odebíraného od dodavatele, byla domluvena výroba trubek kruhových o běžně nenabízeném rozměru. Změna polotovaru měla velký vliv na celkové úspory nákladů, viz kapitola 6.

Pro nově navržený technologický postup byly zvoleny nástroje, které jsou výrobcem určeny k obrábění materiálu součásti. Postup v operaci byl pozměněn s ohledem na nový polotovar a řezné podmínky byly stanoveny podle doporučení výrobce. Navíc obráběním součásti z opačného směru, viz návodka v kapitole 4.5, byla operace 40 ve stávajícím stavu výroby zahrnuta nově do operace 20, což uspořilo zejména vedlejší časy. Dále bylo provedeno zhodnocení celkových výrobních nákladů nově navrženého výrobního postupu.

Předposlední kapitola byla zaměřena na optimalizaci řezných podmínek z hlediska minimálních nákladů operace 20 nově navrženého výrobního postupu. Aby to bylo možné provést bylo nejprve nutné stanovit závislost trvanlivosti nástroje na řezné rychlosti. To je popsáno podrobně v kapitole 1.4 teoreticky a prakticky v kapitole 5.2. Jak už bylo výše napsáno, tak v rámci této diplomovou práci nebyly provedeny zkoušky na stanovení trvanlivosti nástroje v závislosti na řezné rychlosti. Jelikož potřebné konstanty se pro daný obráběný materiál a řezný nástroj nepodařilo nelézt, tak bylo nutné postupovat jinak. Ze stránek dodavatele použitých nástrojů Sandvik cz s.r.o. byly použity údaje o trvanlivosti daného nástroje při obrábění materiálu obrobku v závislosti na řezné rychlosti. Hodnoty sice přesně neodpovídají reálnému stavu, jelikož nezohledňují některé aspekty obráběcího procesu. Například vliv posuvu a šířky záběru ostří. Přesto tyto vlivy lze zanedbat [30]. Z těchto údajů poté byly vytvořeny $T - v_c$ závislosti, které se následně převedly do logaritmických souřadnic. Z těchto grafů poté pomocí Taylorova vztahu byly získány konstanty C_T , C_V a m . Poté už byla provedena optimalizace řezné rychlosti s ohledem na minimální náklady, nejprve graficky a poté ověření analyticky. Takto vypočtené ideální hodnoty byly kontrolovány, jestli nepřekračují některou z omezujících podmínek a případně byly upraveny, aby splňovaly. Na konci kapitoly 5 byly spočítány náklady pro optimalizovaný nově navržený postup výroby součásti.

V poslední kapitole bylo provedeno celkové ekonomické zhodnocení stávajícího stavu výroby, nově navržené výroby a optimalizované nově navržené výroby. Výsledky jsou v kapitole 6 podrobně popsány a následně prezentovány v závěru diplomové práce.

ZÁVĚR

V první části této diplomové práce byl popsán stávající stav výroby součásti vedení ventilu. Byly stanoveny výrobní časy a náklady potřebné na výrobu součásti při velikosti série 1000 ks. Cílem této diplomové práce je navržení zlepšení stávajícího stavu výroby a následná optimalizace řezných podmínek s ohledem na minimální výrobní náklady.

Jelikož stupeň využití materiálu vyšel pouze 0,256, tak prvním krokem návrhu na zlepšení stávající technologie byla změna polotovaru. Původní tyč kruhová byla změněna za trubku kruhovou a tím se stupeň využití materiálu zvýšil na 0,356. Tato změna polotovaru přinesla úsporu na nákladech na materiál 26,11 Kč na jeden kus. To však nejsou veškeré úspory, které tato změna polotovaru přinesla. Odpadla nutnost vrtání součásti, což uspořilo jak náklady na strojní práci, tak náklady na nástroj a jeho výměnu.

Dále byla provedena změna technologického postupu. Byly navrženy nové nástroje a odpovídající řezné podmínky. V poslední kapitole byla provedena optimalizace operace 20 z hlediska minimálních nákladů včetně ověření omezujících podmínek. V poslední kapitole pak bylo provedení celkové porovnání stávajícího stavu výroby, nově navržené výroby a optimalizované nově navržené výroby.

Při celkové sumarizaci bylo dosaženo následujících výsledků pro jeden vyrobený kus:

- stupeň využití materiálu se zvýšil z 0,256 na 0,356,
- náklady na materiál klesly o 26,11 Kč,
- výrobní čas se snížil z 6,30 min na 2,41 min,
- celkové výrobní náklady se snížily o 43 % (z 235,63 Kč na 135,35 Kč),
- úspory výrobních nákladů pro celou sérii činí 101 250 Kč.

Návrhy vedoucí ke zlepšení výroby součásti, které byly navrženy v této diplomové práci, budou realizovány ve firmě.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. EXCALIBUR ARMY [online]. 2018 [cit. 2018-16-08]. Dostupné z: <http://www.excaliburarmy.com/spolecnost>
2. BOOTHROYD, G. W. K.: *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. New York, Marcel Dekker, 1989, 542 s
3. MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01864-6.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
5. HUMÁR, A. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část*. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003 [online]. [cit. 2018-16-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/TI_TO-1cast.pdf.
6. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
7. ULBRICH, Roman. *Životnost držáků VBD pro soustružení, frézování* [e-mail]. 11. 5. 2017 12:44 [cit. 2017-05-11].
8. HUMÁR, A. *Technologie I – Technologie obrábění – 2. část*. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003. [online]. [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/TI_TO-2cast.pdf.
9. ZEMČÍK, Oskar. *TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění*. Vysoké učení technické v Brně [online]. Brno, 2007 [vid. 2018-11-16]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>.
10. PEGAS GONDA s.r.o.: *Gravitační pásová pila 230 x 280 GH-LR* [online]. 2017 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-pegas_212.htm
11. *Doosan Machine Tools: DOOSAN Lynx 220 LYC* [online]. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: http://www.doosanmachinetools.com/en/product/list.do?CATEGORY_ID=mten010100
12. FIPAS - pily na kov s.r.o.: *Pilový pás 2720x27x0,9 M42 6/10z - BOMAR Ergonomic 275.230 DG* [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <http://www.pasove-pily.cz/eshop/bomar-ergonomic-275230-dg-pilovy-pas-2720x27x09-m42-610z>
13. *Pramet Tools, s.r.o.: Katalog Pramet* [online]. 2019 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/>
14. KINEX Measuring s.r.o.: *Digitální posuvné měřítko: KINEX ABSOLUTE ZERO, 150/40 mm.* [online]. Brno [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://shop.kinexmeasuring.com/cs/digitalni-posuvne-meritko-kinex-absolute-zero-150-40-mm-din-862-p9000117c24c170/>
15. TRENS SK, a. s.: *Univerzální hrotový soustruh SN 32* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.trens.sk/sk/produkty/univerzalne-hrotove-sustruhy/sn-32>

-
16. *MetalCentrum s.r.o.: Hliníkový bronz a jeho využití* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.metalcentrum.cz/hlinikovy-bronz-a-jeho-vyuziti/>
 17. KOCMAN, Karel a Jiří PERNIKÁŘ. Ročníkový projekt II – obrábění. [online]. [vid. 2019-02-21]. Zpracováno v rámci projektu studijních opor v kombinované formě bakalářského studia "Strojírenská technologie". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 26 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
 18. *Technická univerzita v Liberci Fakulta strojní: Soustruhy s oběžným průměrem do 500 a 800 mm I.* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <http://www.kom.tul.cz/download.php>
 19. *PRECITOOL CZ s.r.o.: Vrták PRECITOOL-GP, TiAlN, stopka HA, 5 x D* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: http://www.precitool.cz/cz/bk/index.php?catalog=B1302_F1302#page_8
 20. *M&V, spol. s r.o. Divize STIMZET: Katalog STIMZET* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/ke_stazeni_cz.html
 21. *STANLEY: Powerlockclassic svinovací metr* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://www.stanleyworks.cz/products/detail/PRODUKTY/RUČNÍ+NÁŘADÍ/Měřídla>
 22. *Kalibrační laboratoř Zindler, Měrka pro měření sražení hran 30°, 45°, 60° Helios-Preisser*, [online]. Brno [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://shop.kinexmeasuring.com/cs/merky-radiusove-kinex-1-7mm-csn-253816-p156c30/>
 23. *KINEX Measuring s.r.o., Měrka rádiusová KINEX 1–7 mm, ČSN 25 3816* [online]. Brno [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.klz.inshop.cz/0597301-merka-pro-mereni-srazenych-hran-30-45-60-merici-rozsah-10-mm>
 24. *KIWEK METAL s.r.o.: Obecný ceník kovošrotu a sběrných surovin*, [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://www.kovosrot-autovrakoviste-kiwek.cz/rubriky/cenik/cenik-kovosrotu-sternberk/>
 25. *Sandvik cz s.r.o., Katalog obráběcích nástrojů 2017* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx>
 26. HUMÁR, A. *Technologie I – Výpočtová cvičení*. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003 [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_vypoctova_cv.pdf
 27. AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
 28. FIALA, Z. HE1- Experimentální metody (přednáška) Brno: VUT v Brně FSI, 22.10. 2018
 29. *Mitutoyo Česko s.r.o.: Přístroj na měření povrchu Surftest SJ210*, [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/public/index.xhtml
-

-
30. DE VOS, Patrick, Jan-Eric STÄHL, Kateřina DUFKOVÁ, Miroslav PÍŠKA a Martin SLANÝ. *Opotřebení řezných nástrojů: praktické zkušenosti*. Fagersta: SecoTools AB, 2014, 168 s.
 31. ČSN EN 12163. *Měď a slitiny mědi - Tyče pro všeobecné použití*. Praha: český normalizační institut, 2000.
 32. Sandvik cz s.r.o., *Obráběné materiály* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cscz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_D	mm^2	Jmenovitý průřez třísky
$C_{m/kg}$	Kč/kg	Cena mat. za kilogram
$C_{m/kg1}$	Kč/kg	Cena mat. za kilogram za stávající polotovar
$C_{m/kg2}$	Kč/kg	Cena mat. za kilogram za nově navržený pol.
$C_{modpad/kg}$	Kč/kg	Cena odpadového materiálu za kilogram
D	mm	Průměr
D_1	mm	Min. průměr při výpočtu stroj. času s konst. n
D_2	mm	Max. průměr při výpočtu stroj. času s konst. n
D_{max}	mm	Maximální průměr
D_{min}	mm	Minimální průměr
D_V	Kč	Hodinová sazba na vedlejší práci
F_c	N	Řezná síla
F_t	N	Třecí síla vyvolaná F_u
F_u	N	Upínací síla jedné čelisti
L	mm	Délka obráběné plochy
L_n	mm	Dráha nástroje
M_K	$\text{N} \cdot \text{m}$	Krouticí moment
$M_{k \text{ krit}}$	$\text{N} \cdot \text{m}$	Kritický krouticí moment při kterém dojde k uvolnění obrobku
$M_{k \text{ max}}$	$\text{N} \cdot \text{m}$	Maximální přípustný krouticí moment
M_o	$\text{N} \cdot \text{m}$	Ohybový moment
$M_{o \text{ max}}$	$\text{N} \cdot \text{m}$	Maximální přípustný ohybový moment
N_1	Kč	Náklady na VBD
N_2	Kč	Náklady na nožový držák
N_3	Kč	Náklady na výměnu nástroje
N_c	Kč	Celkové náklady
N_{c1}	Kč	Celkové náklady stávajícího stavu výroby
N_{c2}	Kč	Celkové náklady nově navržené výroby
$N_{c \text{ opt}}$	Kč	Celkové náklady opt. nově navržené výroby
N_m	kg	Norma spotřeby materiálu
N_{m1}	kg	Norma spotřeby materiálu pro stávající stav
N_{m2}	kg	Norma spotřeby mat. pro nově navržený pol.
N_N	Kč	Náklady na nástroj a jeho výměnu
N_{N1}	Kč	Nákl. na nástroj a jeho výměnu stávající výroby
N_{N2}	Kč	Nákl. na nástroj a jeho výměnu nově navržené výroby
$N_{N \text{ opt}}$	Kč	Náklady na nástroj a jeho výměnu opt. nově navržené výroby
N_s	Kč	Náklady na strojní práci
N_{s1}	Kč	Náklady na strojní práci stávajícího stav. výr.
N_{s2}	Kč	Náklady na strojní práci nově navržené výroby
N_{sm}	Kč/min	Minutová sazbu stroje
N_{sm2}	Kč/min	Minutová sazbu stroje 2
N_{sn}	Kč/h	Hodinovou sazbu stroje
N_{sn1}	Kč/h	Hodinovou sazbu stroje pro stroj 1
N_{sn2}	Kč/h	Hodinovou sazbu stroje pro stroj 2
N_{sn3}	Kč/h	Hodinovou sazbu stroje pro stroj 3
N_{sn4}	Kč/h	Hodinovou sazbu stroje pro stroj 4

N_{sn5}	Kč/h	Hodinovou sazbu stroje pro stroj 5
N_{Sopt}	Kč	Nákl. na strojní práci opt. nově navržené výroby
N_T	Kč	Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažený na jednu trvanlivost břitu
N_{T1}	Kč	Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažený na jednu trvanlivost břitu pro nástroj P2
N_{T2}	Kč	Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažený na jednu trvanlivost břitu pro nástroj P3
N_{T3}	Kč	Náklady na nástroj a jeho výměnu vztažený na jednu trvanlivost břitu pro nástroj P4
N_V	Kč	Náklady na vedlejší práci
N_{V1}	Kč	Náklady na vedlejší práci stáv. stavu výr.
N_{V2}	Kč	Náklady na vedlejší práci nově navržené výr.
N_{Vopt}	Kč	Náklady na vedlejší práci opt. nově navr. výr.
P_C	kW	Řezný výkon
P_{Cmax}	kW	Maximální přípustný řezný výkon stroje
P_e	kW	Výkon elektromotoru stroje
Q_T	ks	Počet obrobených kusů 1 ostřím
R_a	μm	Střední aritmetická úchylka povrchu
R_{amax}	μm	Max. příp. střední aritmetická úchylka povrchu
T	min	Trvanlivost ostří
T_1	min	Trvanlivost ostří odpovídající řezné rychlosti vc_1
T_2	min	Trvanlivost ostří odpovídající řezné rychlosti vc_2
T_{opt}	min	Optimální trvanlivost z hlediska min. nákladů
T_S	min	Celková doby směny
V_m	mm^3	Objem odebraného materiálu třísek
V_t	mm^3	Objem volně ložených třísek
W		Objemový součinitel třísek
Z_m	kg	Celkové ztráty materiálu připadající na jeden kus
Z_{m1}	kg	Celkové ztráty materiálu připadající na jeden kus pro stávající stav
Z_{m2}	kg	Celkové ztráty materiálu připadající na jeden kus pro nově navržený polotovar
Z_{mm}		Nerecyklovaný odpadový materiál
a_P	mm	Šířka záběru ostří
C_T		Konstanta
C_{T1}		Konstanta platná pro nástroj P2, P3
C_{T2}		Konstanta platná pro nástroj P4
C_V		Konstanta
C_{V1}		Konstanta platná pro nástroj P2, P3
C_{V2}		Konstanta platná pro nástroj P4
d_{pol}	mm	Největší průměr stávajícího polotovar
d_{pol1}	mm	Největší průměr nově navrženého polotovar
d_{pol2}	mm	Nejmenší průměr nově navrženého polotovar
f	mm	Posuv na otáčku
f_{smax}	mm	Maximální přípustný posuv z hlediska stroje
f_{smin}	mm	Minimální přípustný posuv z hlediska stroje
f_{umax}	mm	Maximální přípustný posuv
f_{umin}	mm	Minimální přípustný posuv
i		Počet záběrů
k_1		Substituce 1

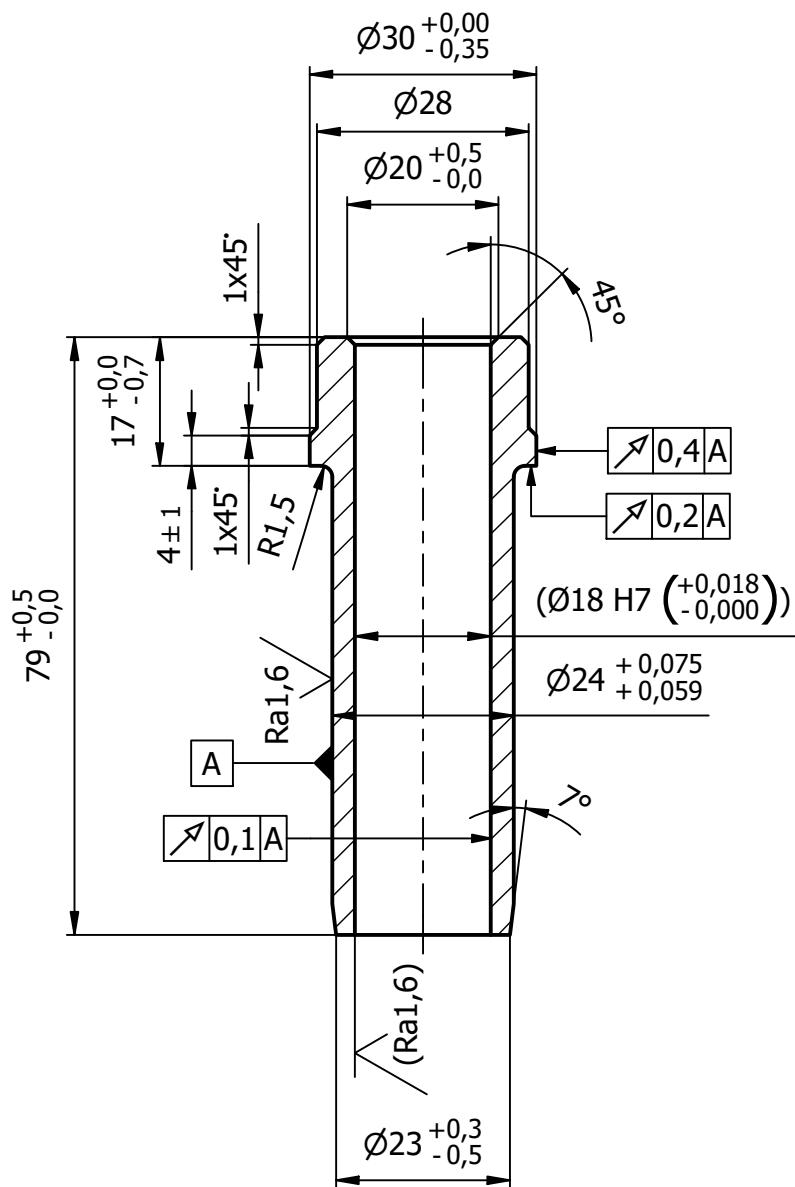
k_2		Substituce 2
k_3		Substituce 3
k_4		Substituce 4
k_c	MPa	Měrná řezná síla
k_{cc}		Přirážka směnového času
k_m		Stupeň využití materiálu
k_{m1}		Stupeň využití materiálu pro stávající stav
k_{m2}		Stupeň využití mat, pro nově navržený polotovar
l_i	mm	Délka náběhu
l_k	mm	Délka nevyužitého konce tyče
l_n	mm	Délka soustružené plochy
l_p	mm	Délka přířezu
l_{pp}	mm	Délka přeběhu
l_{pol}	mm	Délka polotovaru
m		Exponent vyjadřující směrnici vzniklé přímky
m_1		Exponent vyjadřující směrnici vzniklé přímky platný pro nástroj P2, P3
m_2		Exponent vyjadřující směrnici vzniklé přímky platný pro nástroj P4
m_{kg}	kg	Hmotnost součásti
m_p	kg	Hmotnost polotovaru
m_{p1}	kg	Hmotnost polotovaru pro stávající stav
m_{p2}	kg	Hmotnost pol. pro nově navržený polotovar
n	min ⁻¹	Otáčky
n_B	ks	Počet břitů VBD
n_{opt}	min ⁻¹	Optimální otáčky z hlediska minimálních nákladů
n_p	ks	Počet kusů z jednoho přířezu
n_{smax}	min ⁻¹	Maximální přípustné otáčky stroje
n_{smin}	min ⁻¹	Minimální přípustné otáčky stroje
n_t	ks	Počet kusů výrobitelných z jedné tyče
p_p	ks	Počet přířezů z jedné tyče
q_0	kg	Ztráta mat. obr. přídavku připadající na jeden kus
q_{01}	kg	Ztráta materiálu obr. přídavku připadající na jeden kus pro stávající stav
q_{02}	kg	Ztráta materiálu obr. přídavku připadající na jeden kus pro nově navržený polotovar
q_k	kg	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jeden kus
q_{k1}	kg	Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jeden kus pro stávající stav
q_{k2}	kg	Ztráta mat. z nevyužitého konce tyče připadající na jeden kus pro nově navržený polotovar
q_u	kg	Ztráta materiálu vzniklá dělením materiálu připadající na jednici
q_{u1}	kg	Ztráta materiálu vzniklá dělením materiálu připadající na jednici pro stávající stav
q_{u2}	kg	Ztráta materiálu vzniklá dělením materiálu připadající na jednici nově navržený polotovar
s	mm	Šířka řezu pásové pily
t_A	min	Výrobní čas na jeden kus (při optimalizaci z hlediska maximální produktivity)

t_{as}	min	Strojní čas
t_{as1}	min	Strojní čas stávajícího stavu výroby
t_{as2}	min	Strojní čas nově navržené výroby
t_{assc}	min	Celkový čas se zahrnutím směnového času
t_{asopt}	min	Strojní čas opt. nově navržené výroby
t_{AV}	min	Jednotkový vedlejší čas
t_{Ax}	min	Čas výměny nástroje
t_c	min	Směnový čas
t_N	min	Čas na výměnu nástroje
V_c	$m \cdot min^{-1}$	Řezná rychlost
V_{copt}	$m \cdot min^{-1}$	Optimální řezná rychlost z hlediska min. nákladů
V_{copt1}	$m \cdot min^{-1}$	Opt. řezná rychlost z hled. min. nákladů pro P2
V_{copt2}	$m \cdot min^{-1}$	Opt. řezná rychlost z hled. min. nákladů pro P3
V_{copt3}	$m \cdot min^{-1}$	Opt. řezná rychlost z hled. min. nákladů pro P4
V_{c1}	$m \cdot min^{-1}$	Řezná rychlost odpovídající trvanlivost ostří T1
V_{c2}	$m \cdot min^{-1}$	Řezná rychlost odpovídající trvanlivost ostří T2
V_f	mm/min	Rychlost posuvu
Z	min	Životnost nožového držáku
η		Mechanická účinnost stroje
ρ_{mat}	kg/mm^3	Hustota materiálu součásti
λ		Vyjadřuje čistý čas břitu v záběru v součinu se strojním časem
CNC		Computer numeric control
ČSN		Česká státní norma
EN		Evropská norma
HSS		High speed steel
VBD		Vyměnitelná břitová destička
SK		Slitý křemík

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti
Příloha 2	Použité nástroje - parametry
Příloha 3	Kompaktní soustružnické centrum DOOSAN Lynx 220LYC – pracovní prostor
Příloha 4	Průběh nákladů v závislosti na řezné rychlosti – optimalizace
Příloha 5	Porovnání jednotlivých nákladů nově navrženého postupu a optimalizovaného nově navrženého postupu všech operačních úseků operace 20
Příloha 6	Závislost výkonu a krouticího momentu na otáčkách hlavního vřetene

Ra6,3 (✓)



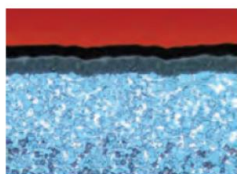
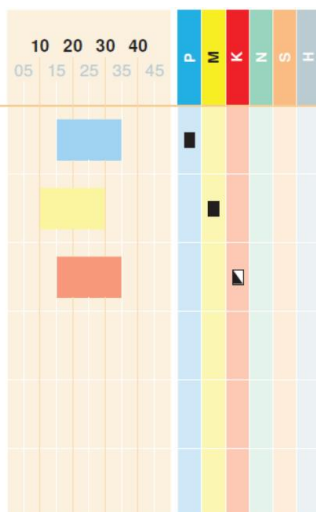
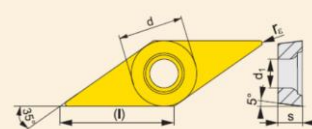
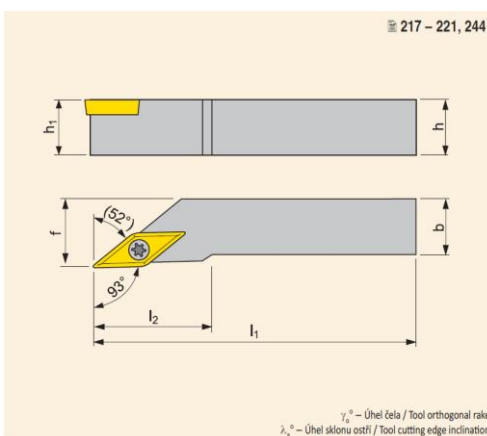
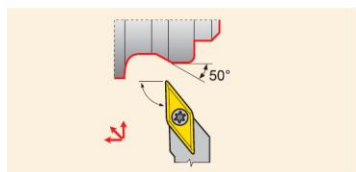
ROZMĚR V ZÁVORCE OPRACOVAT V SESTAVĚ.

Materiál	BRONZAL			Promítání 	index e d c b a	změna	datum	podpis
Rozměr-polot.	TYČ BRONZAL Ø32x80, ČSN 42 8510							
Hmotnost	Není k dispozici			Přesnost				
Dodavatel				ČSN ISO 2768 mK				
				Tolerování ISO 8015				
Vypracoval		Kreslil		Měřítko 1:1	Poznámka			
Schválil		Datum	26.10.2018		Starý výkres		Sestava	
				Typ, projekt		Formát	A4	
				Název	VEDENÍ VENTILU			
				Číslo výkresu				
					List	1		

Použité nástroje stávající stav výroby – parametry [13, 19]

T2 – Nožový držák a VBD pro vnější soustružení

Nůž pro vnější soustružení SVJCR 2020 K16-M-A							
h=h1	b	f	l ₁	l ₂	λ _s ⁰	γ ₀ ⁰	m
[mm]					[°]		[kg]
20	20	25	125	28	0	0	0,4
Vyměnitelná břitová destička VBMT 160404E-FM							
d	d1	s	r _ε	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
[mm]							
9,525	4,50	4,76	0,4	0,1	0,2	0,4	2,0

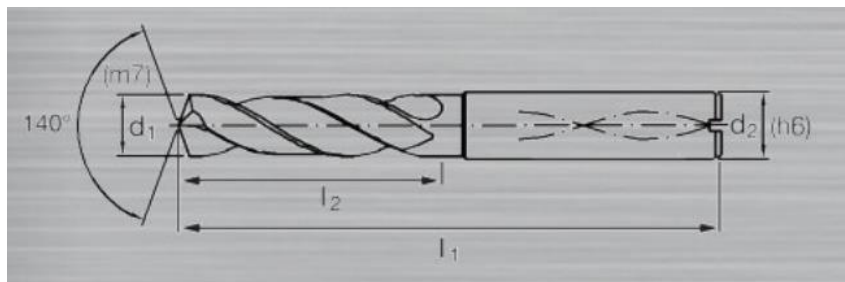


- funkčně gradientní substrát
 - střední obsah kobaltové pojivci fáze
 - středně silný povlak nanesený metodou MT-CVD
 - vysoce univerzální materiál s velmi dobrou provozní spolehlivostí
 - povrch je speciálně upraven pro povlaku
 - prioritně určený pro obrábění materiálů skupiny P a M dále K a S
 - střední a vyšší řezné rychlosti
 - kontinuální i přerušovaný řez
 - nepříznivé záberové podmínky
-
- functionally gradient substrate
 - relatively low content of cobalt binder phase
 - thick MT-CVD coating
 - highly versatile material with very good operational reliability
 - special surface finish for coating
 - primarily designed for machining material groups P, M, and K
 - medium and higher cutting speed
 - continuous and interrupted cut
 - unfavourable cutting conditions, continuous and/or interrupted cuts

T3 – Vrták Ø17,8 mm

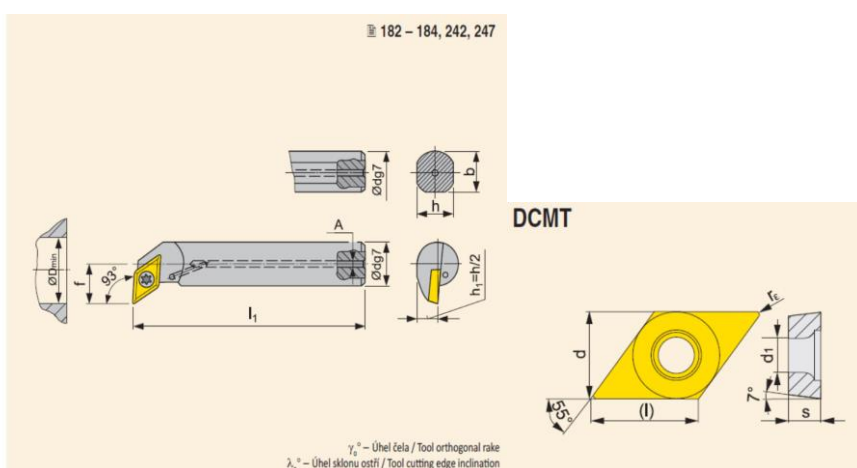
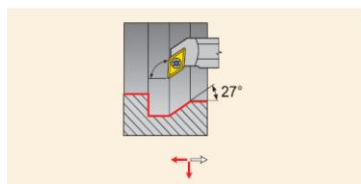
Vrták PRECITOOL-GP, TiAlN, stopka HA, 5 x D						
d_1	l_1	l_2	d_2	f	v_c (skupina N)	ϵ_r
[mm]					[m/min]	[°]
17,8	143	93	18	0,180-0,370	80-125	140

Kde: d_1 -jmenovitý průměr, l_1 -celková délka, l_2 -délka šroubovitě drážky, d_2 - průměr stopky, f -posuv, v_c -řezná rychlost, ϵ_r -úhel špičky.



T4 – Nožový držák a VBD pro vnitřní soustružení

Nůž pro vnitřní soustružení A12K-SDUCR 07							
d	f	l_1	h	D_{min}	λ_s^0	γ_0^0	m
[mm]					[°]		[kg]
12	9	125	11	16	-7	0	0,1
Vyměnitelná břitová destička DCMT 070204E-FM							
d	d_1	s	r_ϵ	f_{min}	f_{max}	$a_{p \min}$	$a_{p \max}$
[mm]							
7,8	2,90	2,38	0,4	0,08	0,24	0,4	2,0



T8330



10 20 30 40					P	M	K	N	S	H
05	15	25	35	45						

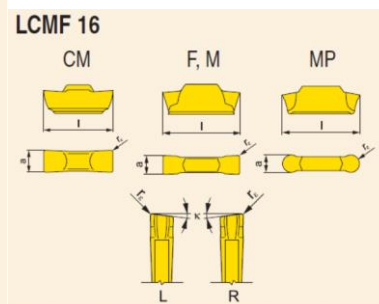
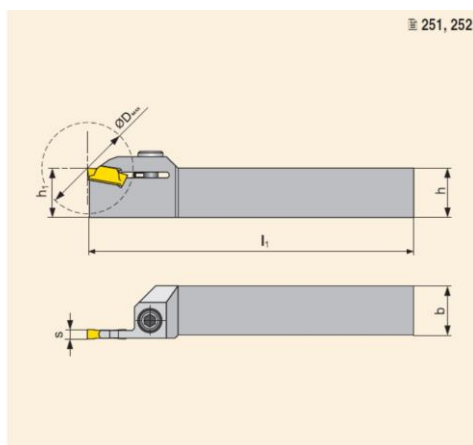
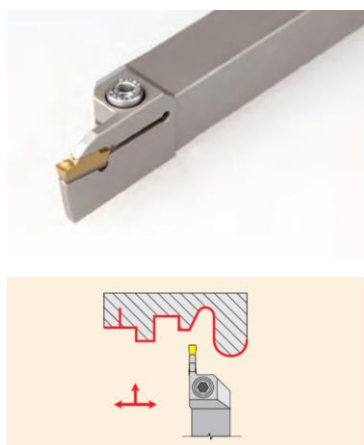


- nejuniverzálnější člen řady T8300
- submikronový substrát s relativně vysokým obsahem kobaltu
- nano-vrstevnatý PVD povlak s gradientními přechody
- snížené vnitřní prnutí v povlaku při zvýšení tvrdosti
- zmenšení vrubového opotřebení na hlavním břitě
- střední řezné rychlosti
- vhodný pro obrábění materiálů skupiny M, P, K; podmíněně N, S, H
- dobrá provozní spolehlivost
- ztížené záběrové podmínky

- the most versatile member of the T8300 series
- sub-micron substrate with a relatively high cobalt content
- nano-layered PVD coating with gradient transitions
- lower internal coating tension with higher hardness
- lower notch wear on the main cutting edge
- medium cutting speeds
- suitable for machining material groups M, P, and K; potentially also N, S, and H
- good operative reliability
- impaired machining conditions

T5 – Nožový držák a VBD pro upichování a zapichování

Nůž pro upichování a zapichování GFMR 2020 K0316							
$h=h_1$	b	l_1	a	D_{max}	-	-	m
[mm]					-		[kg]
20	20	125	3	30	-	-	0,4
Vyměnitelná břitová destička LCMF 031604-M							
a	tol. a	l	r_ϵ	f_{min}	f_{max}	$a_{p \min}$	$a_{p \max}$
[mm]							
3	$\pm 0,05$	16,4	0,4	0,1	0,25	0,3	3,0



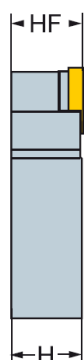
Povlak nástroje T5 stejný jako u nástroje T4.

Použité nástroje nově navržená výroba – parametry [25]

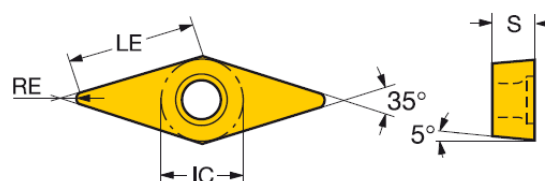
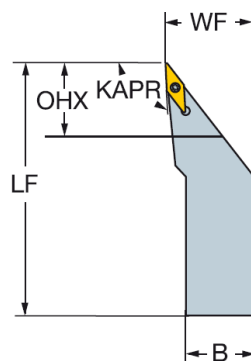
P2 – Nožový držák a VBD pro vnější soustružení

Nůž pro vnější soustružení SVJBR 2525M 16							
CZC _{MS}	OHX	LF	WF	HF	-	-	m
[mm]					-		[kg]
25x25	31,5	150	32	25	-	-	0,69
Vyměnitelná břitová destička VCGX 16 04 08-AL H10							
LE	s	RE	-	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
[mm]							
15,8	4,76	0,79	-	0,12	0,6	0,5	5

KAPR

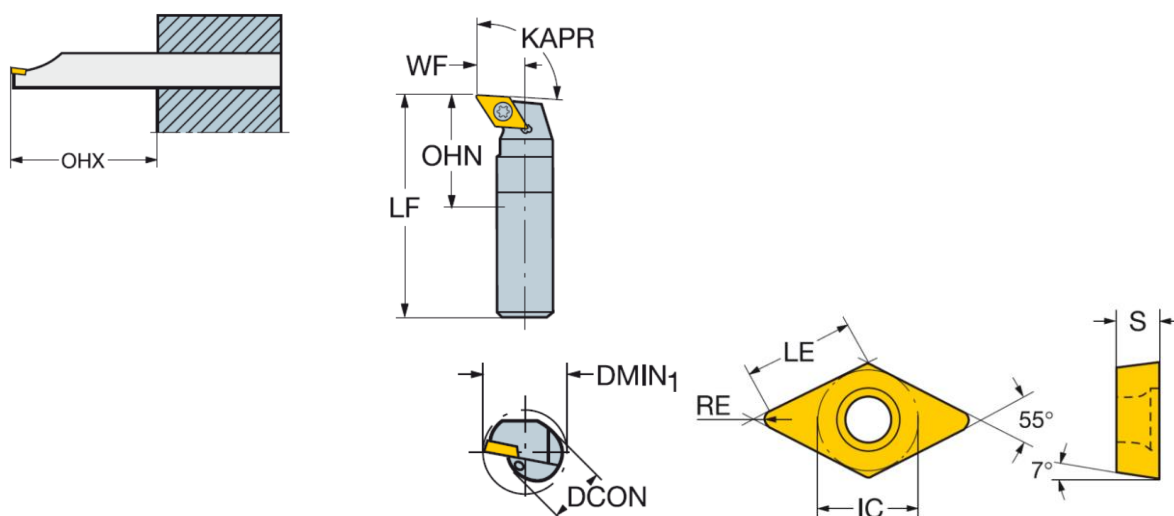


SVJBR/L
93.0°



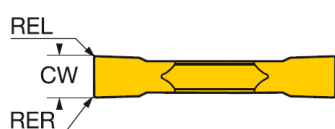
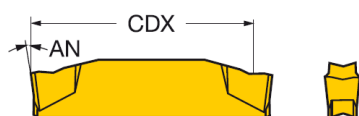
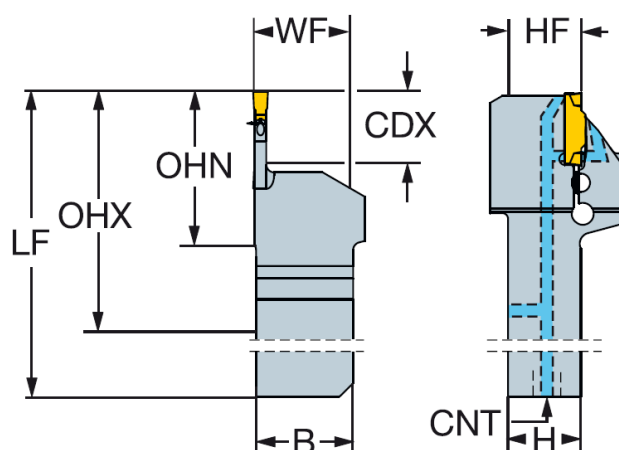
P3 – Nožový držák a VBD pro vnitřní soustružení

Nůž pro vnitřní soustružení F10M-SDUCR 07-ER							
OHX	DMIN ₁	OHN	DCON	LF	WF	RMPX	m
[mm]						[°]	[kg]
100	15	60	10	150	9	27	0,18
Vyměnitelná břitová destička DCGX 07 02 04-AL H10							
LE	S	RE	-	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
[mm]							
7,4	2,38	0,4	-	0,1	0,3	0,5	4,0



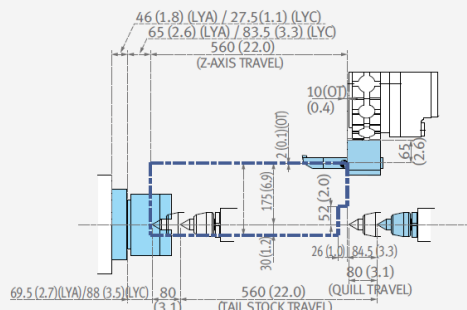
P4 – Nožový držák a VBD pro upichování a zapichování

Nůž pro upichování a zapichování QS-RF123G15C2020E							
BxH	LF	WF	HF	CDX	OHN	OHX	m
[mm]							[kg]
20x20	101,7	22,6	20	15	32,7	57,7	0,37
Vyměnitelná břitová destička N123G2-0300-0002-CM							
CW	REL	REW	CDX	AN	f _{max}	f _{min}	v _c
[mm]				[°]	[mm]		[m/min]
3	0,2	0,2	0,4	7	0,05	0,8	250

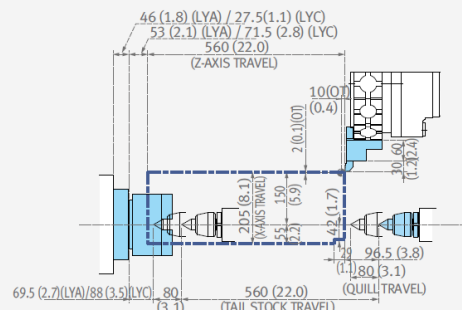


Kompaktní soustružnické centrum DOOSAN Lynx 220LYC – pracovní prostor [11]

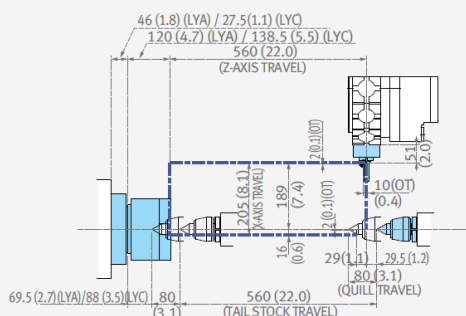
ID Tool



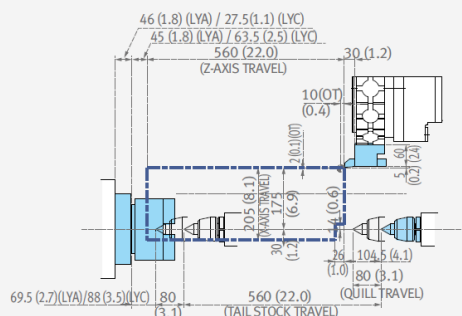
OD Tool



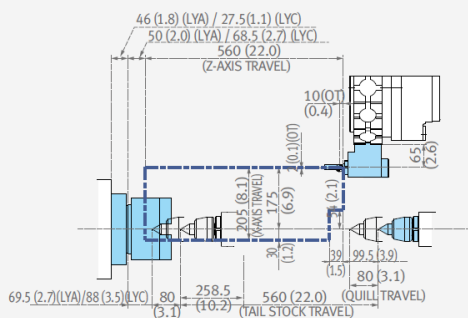
Straight Milling



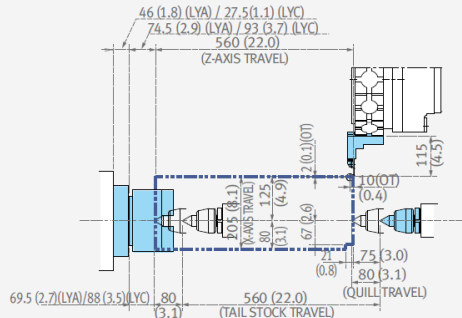
Face Tool



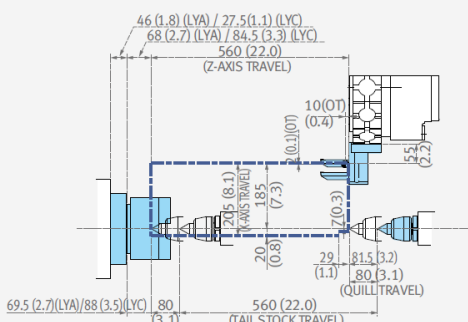
Angular Milling



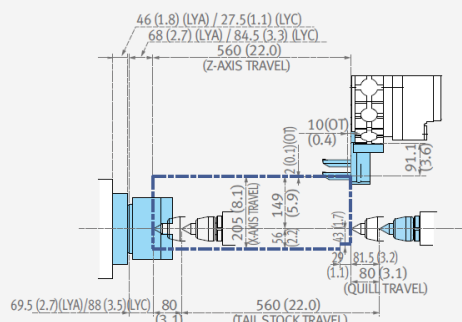
Cut Off Holder



Triple ID Tool 1



Triple ID Tool 2



Průběh nákladů v závislosti na řezné rychlosti - optimalizace**Nástroj P2 (operační úseky 21, 22, 23)**

v_c	N_s	N_n	N_{vm}	N_c
35,00	45,99	1,20	0,23	47,42
70,00	23,00	1,91	0,36	25,27
105,00	15,33	2,52	0,48	18,33
140,00	11,50	3,06	0,58	15,14
175,00	9,20	3,56	0,68	13,43
210,00	7,67	4,02	0,77	12,45
245,00	6,57	4,46	0,85	11,89
280,00	5,75	4,89	0,93	11,57
315,00	5,11	5,29	1,01	11,41
350,00	4,60	5,68	1,08	11,36
385,00	4,18	6,06	1,16	11,40
420,00	3,83	6,43	1,23	11,48
455,00	3,54	6,78	1,29	11,62
490,00	3,29	7,13	1,36	11,78
525,00	3,07	7,47	1,42	11,96
560,00	2,87	7,81	1,49	12,17
595,00	2,71	8,13	1,55	12,39
630,00	2,56	8,45	1,61	12,62

Nástroj P3 (operační úsek 24)

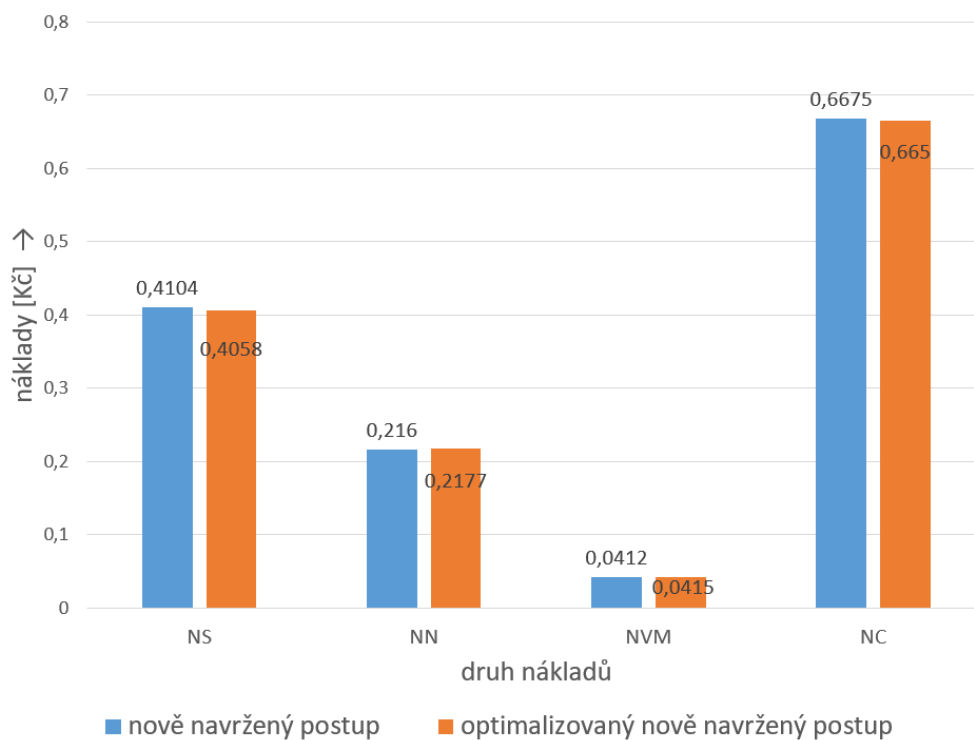
v_c	N_s	N_n	N_{vm}	N_c
35,00	24,45	0,58	0,13	25,16
70,00	12,23	0,93	0,20	13,36
105,00	8,15	1,22	0,27	9,64
140,00	6,11	1,48	0,32	7,92
175,00	4,89	1,72	0,38	6,99
210,00	4,08	1,95	0,43	6,45
245,00	3,49	2,16	0,47	6,13
280,00	3,06	2,36	0,52	5,94
315,00	2,72	2,56	0,56	5,84
350,00	2,45	2,75	0,60	5,80
385,00	2,22	2,93	0,64	5,80
420,00	2,04	3,11	0,68	5,83
455,00	1,88	3,28	0,72	5,88
490,00	1,75	3,45	0,76	5,95
525,00	1,63	3,62	0,79	6,04
560,00	1,53	3,78	0,83	6,13
595,00	1,44	3,94	0,86	6,23
630,00	1,36	4,09	0,89	6,34

Nástroj P4 (operační úseky 25, 26)

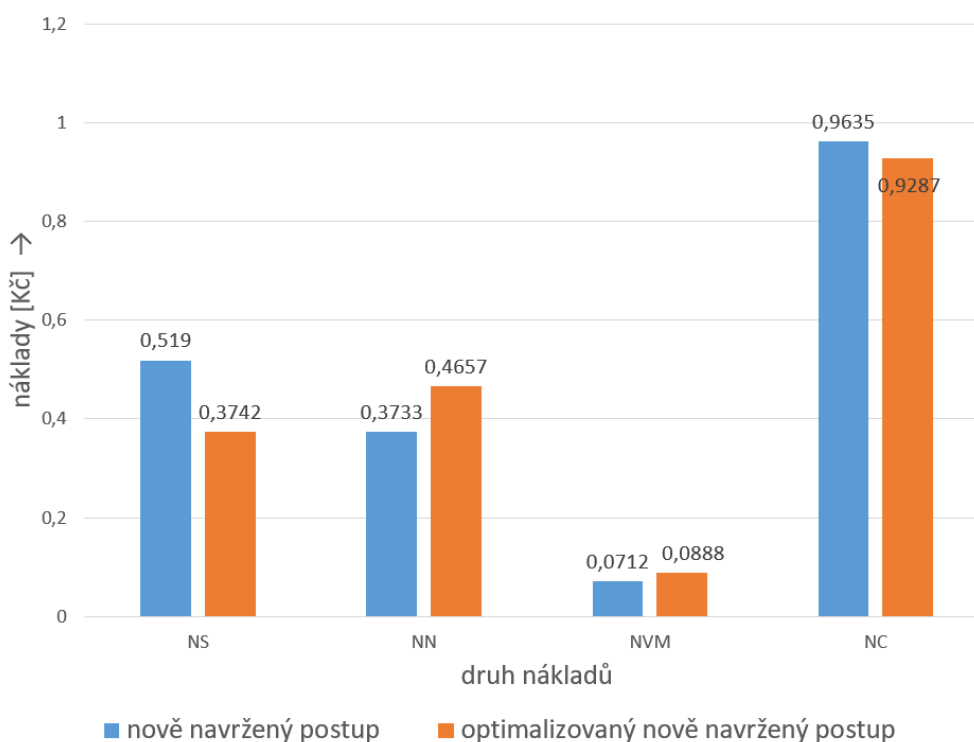
v_c	Ns	Nn	Nvm	Nc
35,00	6,14	0,76	0,09	6,99
70,00	3,07	0,52	0,06	3,65
105,00	2,05	0,48	0,05	2,58
140,00	1,54	0,49	0,06	2,08
175,00	1,23	0,54	0,06	1,83
210,00	1,02	0,61	0,07	1,71
245,00	0,88	0,72	0,08	1,68
280,00	0,77	0,87	0,10	1,73
315,00	0,68	1,05	0,12	1,86
350,00	0,61	1,30	0,15	2,06
385,00	0,56	1,62	0,19	2,36
420,00	0,51	2,04	0,23	2,78
455,00	0,47	2,57	0,30	3,34
490,00	0,44	3,28	0,38	4,09
525,00	0,41	4,19	0,48	5,08
560,00	0,38	5,38	0,62	6,38
595,00	0,36	6,94	0,80	8,10
630,00	0,34	8,98	1,03	10,35

Porovnání jednotlivých nákladů nově navrženého postupu a optimalizovaného nově navrženého postupu všech operačních úseků operace 20

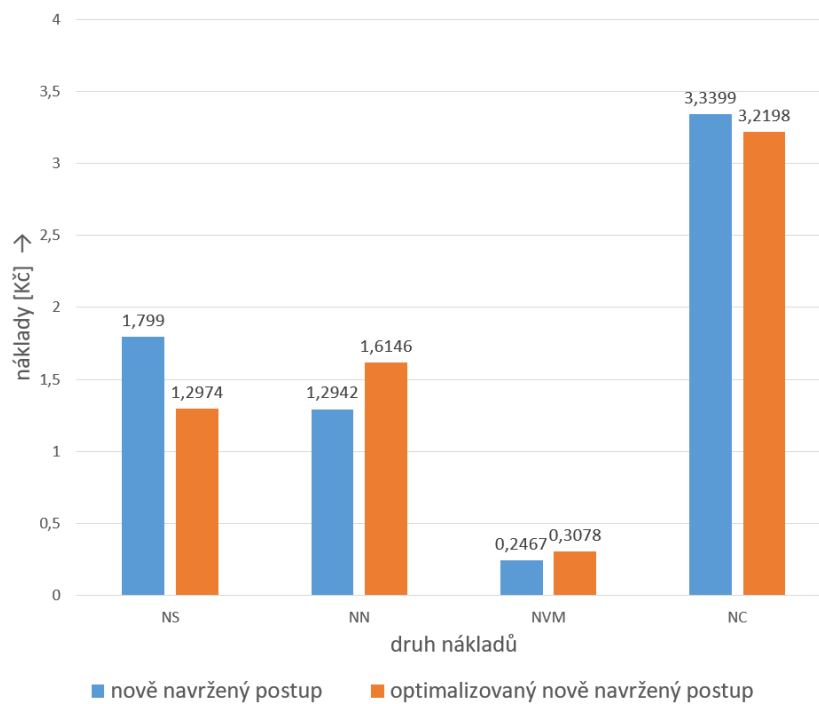
Operační úsek 21



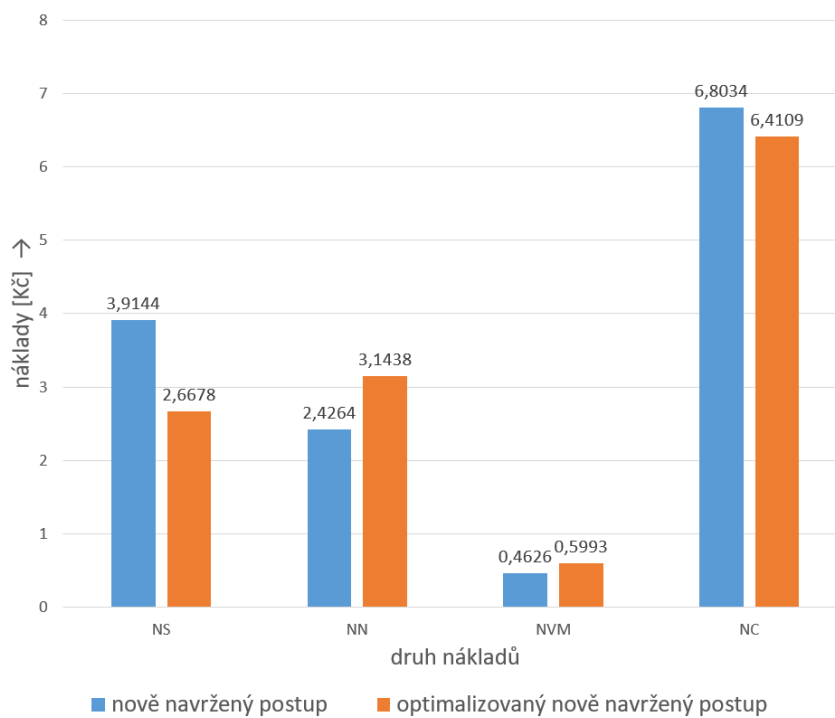
Operační úsek 22-1



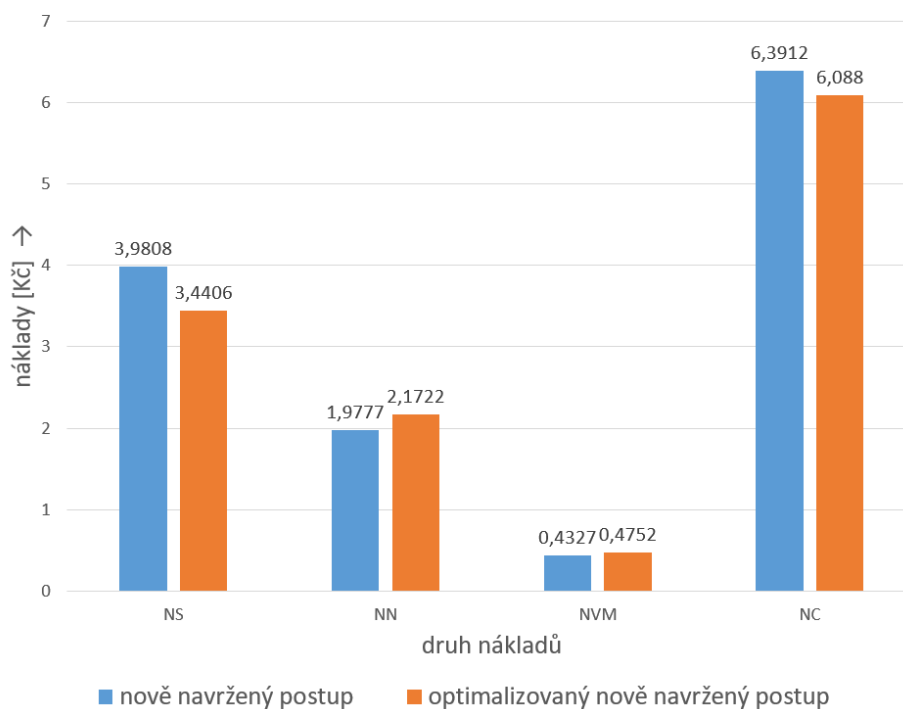
Operační úsek 22-2



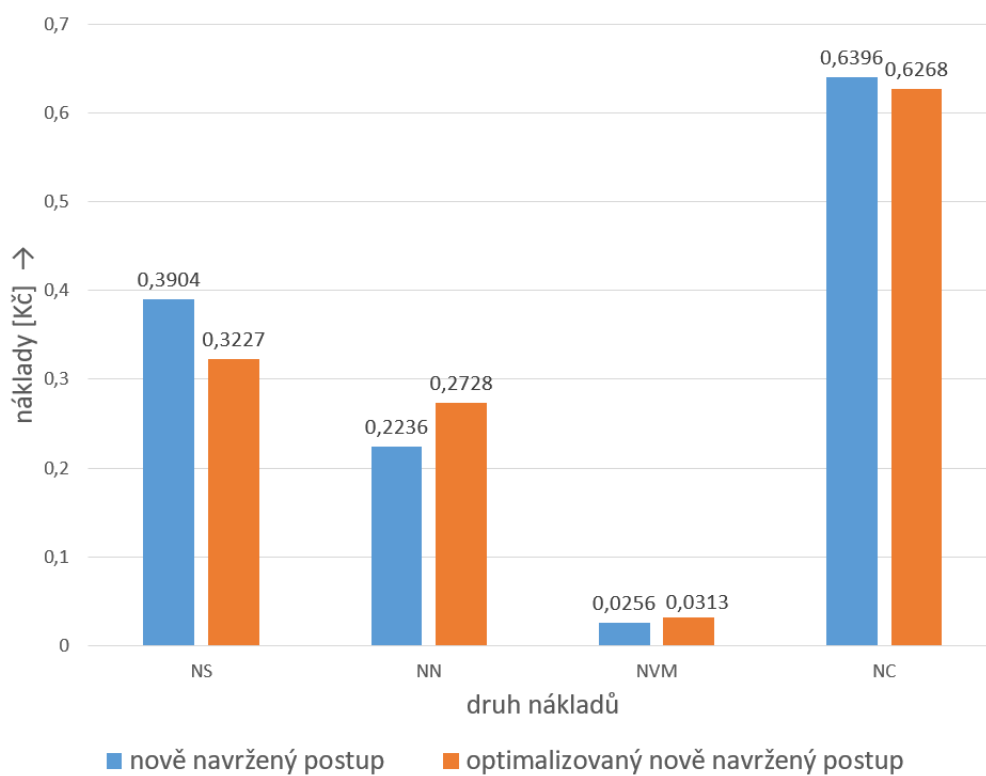
Operační úsek 23



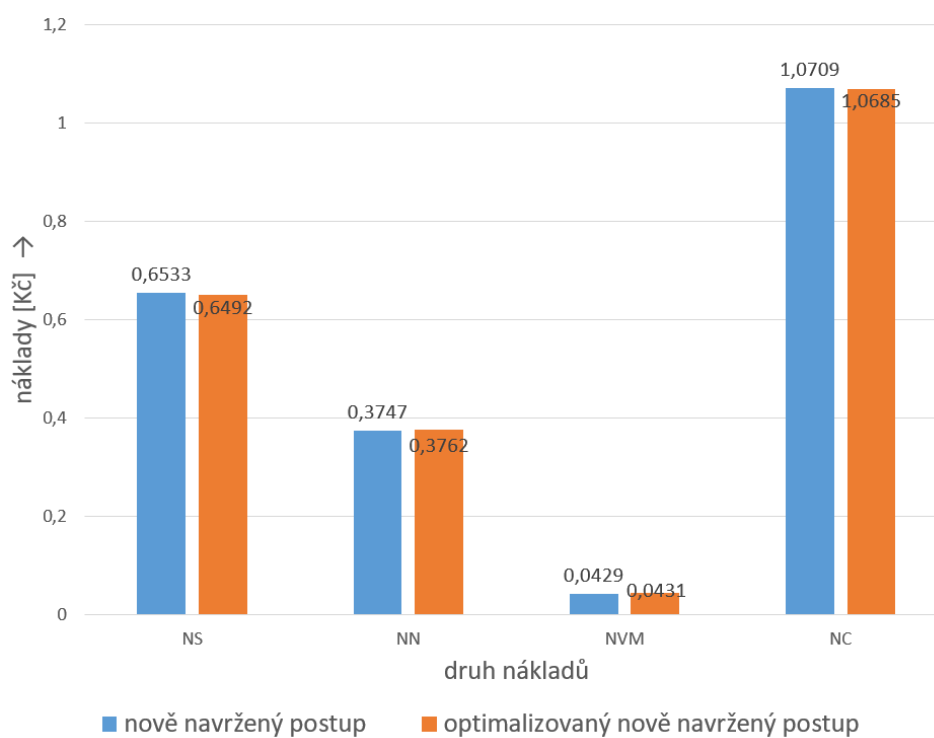
Operační úsek 24



Operační úsek 25



Operační úsek 26



Kde N_s jsou náklady na strojní práci, N_N jsou náklady na nástroj, N_{VM} jsou náklady na výměnu nástroje a N_C je součet těchto nákladů.

Závislost výkonu a krouticího momentu na otáčkách hlavního vřetena [11]

